

DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN EN LAS AULAS DE LA
UNIVERSIDAD DE LA COSTA

SIXTA MARÍA CÁCERES HERRERA
SAID CHAJIN GORI
MELISSA ISABEL TORREGROZA ROSAS

UNIVERSIDAD DE LA COSTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA
BARRANQUILLA
2012

DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN EN LAS AULAS DE LA
UNIVERSIDAD DE LA COSTA

SIXTA MARÍA CÁCERES HERRERA
SAID CHAJIN GORI
MELISSA ISABEL TORREGROZA ROSAS

Proyecto de grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniero
Eléctrico

Tutor del proyecto:
ING. JORGE IVAN SILVA ORTEGA

UNIVERSIDAD DE LA COSTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA
BARRANQUILLA
2012

Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Barranquilla, 01 de octubre de 2012

DEDICATORIA

Primero que todo a Dios por darme la inteligencia y sabiduría para culminar esta etapa de mi vida.

A mis padres y hermanos y demás familiares por su amor, apoyo y comprensión.

A mi esposo por su cariño, amor y apoyo incondicional.

A mis amigos por acompañarme en el camino.

SIXTA MARÍA CÁCERES HERRERA

DEDICATORIA

A Dios por llenarme de Sabiduría, paciencia y entendimiento, a mis padres Luz Elena y Abraham porque gracias a sus esfuerzos hoy puedo decir que soy un profesional dedicado, a mi hijo Bashir por impulsarme cada día a ser una persona trabajadora y emprendedora; Por ser mi gran amor. A mis hermanos Reiner, Marlon y Saray por siempre darme apoyo en los momentos más difíciles.

A Martha Villa por ser mi gran cómplice y por colaborarme cuando más lo necesitaba, por ser la mujer que siempre me apoyo en mis decisiones y ayudarme a entender la cosas en los momentos de desacierto, a mis amigo por su inyectar entusiasmo a ánimos cuando lo necesitaba, a mis compañeras de estudio por colaborarme en los momentos de angustia.

Con cariño y aprecio,

SAID CHAJIN GORI

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a Dios por darme las herramientas necesarias para alcanzar esta meta, por hacerme saber que siempre está a mi lado.

A mi padre por apoyarme de manera incondicional, por respetar mis decisiones y por su confianza infinita en mí. A mi madre por forjar mi carácter, por ser todo un Sistema de Puesta a Tierra para mí y por su amor a pesar de las diferencias.

A mi abuela Candelaria, a mis tías Ledys y Sara y el resto de mis familiares por todos aquellos lindos momentos que hemos pasado como familia.

A mis amigos: Hilda, Mauxy, Carlos Andrés, Ingrid, Fernando, Donny, Luís Esteban y Néstor por regalarme lo mejor de ellos mismos y aceptarme tal cual soy.

A todos ellos dedico este triunfo y les expreso mi eterno agradecimiento por acompañarme a lo largo de esta bella etapa.

Deseándoles felicidad y éxito,

MELISSA I. TORREGROZA ROSAS

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a nuestro tutor Ing. Jorge Iván Silva por dedicarnos su tiempo y poner a nuestra disposición su conocimiento sin reparo alguno.

Al cuerpo docente de la Universidad de la Costa por sus enseñanzas y por ayudarnos a forjar las herramientas con las que hemos de construir nuestro camino como profesionales.

A la Universidad de la Costa por permitirnos realizar este estudio al interior de su planta física y ofrecernos su amable colaboración en todo lo que fue necesario para desarrollar esta investigación.

CONTENIDO

| | |
|---|----|
| INTRODUCCIÓN | 24 |
| 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA | 26 |
| 1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA | 26 |
| 1.2 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA | 26 |
| 1.3 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA | 27 |
| 2. JUSTIFICACIÓN | 28 |
| 3. OBJETIVOS | 30 |
| 3.1 OBJETIVO GENERAL | 30 |
| 3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 30 |
| 4. MARCO REFERENCIAL | 31 |
| 4.1 MARCO TEÓRICO | 31 |
| 4.1.1 Fuentes luminosas. | 31 |
| 4.1.2 Requisitos generales del diseño de alumbrado interior..... | 46 |
| 4.1.3 Valor de eficiencia energética de la instalación..... | 50 |
| 4.1.4 Algoritmos de interpolación empleados por el programa SURFER. | 52 |
| 4.2 MARCO CONCEPTUAL | 59 |
| 4.3 MARCO CONTEXTUAL | 61 |
| 4.3.1 Descripción y ubicación..... | 61 |
| 4.3.2 Misión..... | 61 |
| 4.3.3 Visión. | 62 |
| 4.3.4 Breve reseña histórica..... | 62 |
| 4.4 MARCO LEGAL | 64 |
| 4.4.1 Resolución número 180540 del 30 de marzo de 2012. | 64 |
| 4.4.2 Decreto número 3450 del 12 de septiembre del 2008..... | 64 |
| 4.4.3 Ley 143 de 1994..... | 65 |
| 4.4.4 Ley 30 de 1993 | 65 |
| 5. DISEÑO METODOLÓGICO | 66 |
| 5.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN | 66 |
| 5.2 POBLACIÓN UNIVERSO | 66 |

| | | |
|-------|--|----|
| 5.3 | MUESTRA | 66 |
| 5.4 | ETAPAS DEL PROYECTO..... | 67 |
| 5.4.1 | Etapa I: Obtención de planos y permisos de uso del luxómetro.... | 67 |
| 5.4.2 | Etapa II: Consulta bibliográfica, elaboración de planos y selección del método a emplear para medir los niveles de iluminancia. | 67 |
| 5.4.3 | Etapa III: Recolección y evaluación de datos..... | 67 |
| 5.4.4 | Etapa IV: Gráficas de resultados y selección del algoritmo de interpolación. | 68 |
| 5.4.5 | Etapa V: Análisis de resultados..... | 68 |
| 5.4.6 | Etapa VI: Realización del documento final. | 68 |
| 5.5 | TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN | 68 |
| 5.6 | ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS | 70 |
| 6. | EVALUACIÓN DE LOS NIVELES DE ILUMINANCIA DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN | 71 |
| 6.1 | METODOLOGÍA A EMPLEAR..... | 71 |
| 6.1.1 | Procedimiento de toma de medidas..... | 72 |
| 6.2 | INSTRUMENTO DE MEDIDA..... | 74 |
| 6.3 | NIVELES DE ILUMINANCIA..... | 76 |
| 6.4 | CÁLCULO DEL VALOR DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LA INSTALACIÓN (VEEI) | 81 |
| 7. | USO DEL PROGRAMA SURFER PARA GRÁFICAR LOS RESULTADOS OBTENIDOS..... | 87 |
| 7.1 | DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROGRAMA | 87 |
| 7.2 | DESCRIPCIÓN GENERAL DE LOS COMANDOS DE CADA MENÚ .. | 87 |
| 7.2.1 | Menú File. | 87 |
| 7.2.2 | Menú Edit | 88 |
| 7.2.3 | Menú View | 89 |
| 7.2.4 | Menú Draw..... | 90 |
| 7.2.5 | Menú Arrange | 90 |
| 7.2.6 | Menú Gird | 91 |
| 7.2.7 | Menú Map | 92 |
| 7.3 | SELECCIÓN DEL ALGORITMO DE INTERPOLACIÓN..... | 94 |

| | |
|---|-----|
| 7.4 GRÁFICAS DE ILUMINANCIA EMPLEANDO EL PROGRAMA SURFER..... | 95 |
| 8. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN DE LAS AULA | 96 |
| 8.1 TIPOS DE LUMINARIAS EMPLEADAS EN EL SISTEMA DE ILUMINACIÓN..... | 96 |
| 8.2 CENSO DE CARGA | 96 |
| 9. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS..... | 97 |
| 9.1 ANÁLISIS DE NIVELES DE ILUMINANCIA PROMEDIO | 97 |
| 9.2 ANÁLISIS DEL VALOR DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LAS INSTALACIONES DE ILUMINACIÓN..... | 98 |
| 9.3 ESTADO DE LAS LUMINARIAS | 100 |
| 9.3.1 Desequilibrio en la distribución de luminarias. | 102 |
| 9.4 OTROS ASPECTOS..... | 103 |
| 10. PRESUPUESTO | 105 |
| 11. CRONOGRAMA..... | 106 |
| 12. CONCLUSIONES | 109 |
| 13. RECOMENDACIONES | 111 |
| BIBLIOGRAFÍA..... | 113 |
| ÍNDICE..... | 116 |

LISTA DE TABLAS

| | |
|--|--------------------------------------|
| Tabla 1. Índice UGR máximo y Niveles de iluminancia exigibles para las diferentes áreas y actividades de centros educativos..... | 50 |
| Tabla 2. Total de la población estudiada | 66 |
| Tabla 3. Cumplimiento de las aulas con la iluminancia promedio mínima | 70 |
| Tabla 4. Cumplimiento porcentual de las aulas con la iluminancia promedio mínima | 70 |
| Tabla 5. Censo de carga del sistema de iluminación por cada bloque | 70 |
| Tabla 6. Medidas de iluminancia del bloque 2 | 76 |
| Tabla 7. Resultados de iluminancia promedio bloque 2..... | 77 |
| Tabla 8. Resultados de iluminancia promedio bloque 3..... | 78 |
| Tabla 9. Resultados de iluminancia promedio bloque 5..... | 78 |
| Tabla 10. Resultados de iluminancia promedio bloque 7..... | 79 |
| Tabla 11. Resultados de iluminancia promedio bloque 8..... | 79 |
| Tabla 12. Resultados de iluminancia promedio bloque 9..... | 80 |
| Tabla 13. Resultados de iluminancia promedio bloque Ei | 80 |
| Tabla 14. Valores de Eficiencia Energética del bloque 2 | 83 |
| Tabla 15. Valores de Eficiencia Energética del bloque 3 | 83 |
| Tabla 16. Valores de Eficiencia Energética del bloque 5 | 84 |
| Tabla 17. Valores de Eficiencia Energética del bloque 7 | 85 |
| Tabla 18. Valores de Eficiencia Energética del bloque 8 | 85 |
| Tabla 19. Valores de Eficiencia Energética del bloque 9 | 85 |
| Tabla 20. Valores de Eficiencia Energética del bloque Ei..... | 86 |
| Tabla 21. Censo de carga de las aulas de la Universidad de la Costa | 96 |
| Tabla 22. Salones con niveles de iluminación superior al nivel medio..... | 97 |
| Tabla 23. Salones del bloque 7 con incumplimiento de los niveles mínimos de iluminancia | 98 |
| Tabla 24. Salones del bloque 7 con incumplimiento de los niveles mínimos de iluminancia | ¡Error! Marcador no definido. |
| Tabla 25. Porcentaje de cumplimiento del VEEI en las aulas | 99 |
| Tabla 26. Casos de cumplimiento de VEEI e incumplimiento de iluminancia promedio..... | 100 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Lámpara incandescente estándar..... | 36 |
| Figura 2. a) Proceso de evaporación del tungsteno en una lámpara incandescente convencional y b) Ciclo halógeno en una lámpara halogenada. | 37 |
| Figura 3. Distintos tipos de lámparas fluorescentes..... | 38 |
| Figura 4. Lámpara de inducción..... | 40 |
| Figura 5. Lámpara de sodio a baja presión..... | 41 |
| Figura 6. Lámpara de vapor de mercurio de alta presión | 42 |
| Figura 7. Lámpara de halogenuros metálicos..... | 43 |
| Figura 8. Lámpara de sodio a alta presión..... | 44 |
| Figura 9. Símbolo de un LED..... | 45 |
| Figura 10. LED..... | 46 |
| Figura 11. Representación del concepto “Distancia de búsqueda”..... | 53 |
| Figura 12. Interpolador Distancia Inversa Ponderada..... | 54 |
| Figura 13. Representación de un "Convexo" | 55 |
| Figura 14. Interpolación mediante Red Irregular de Triángulos | 56 |
| Figura 15. Interpolador de curvatura mínima | 57 |
| Figura 16. Entrada principal de la Universidad de la Costa (CUC) | 61 |
| Figura 17. Formato para el registro de datos de iluminancia en el bloque 8..... | 69 |
| Figura 18. Formato para el registro de censo de carga en el bloque 8..... | 69 |
| Figura 19. Puntos de medición de iluminancia en la cuadrícula de un local con luminarias espaciadas simétricamente en dos o más filas | 72 |
| Figura 20. Luxómetro LX 1108..... | 74 |
| Figura 21. Programación en Excel para el cálculo de R | 76 |
| Figura 22. Programación en Excel para el cálculo de la Iluminancia promedio | 77 |
| Figura 23. Programación en Excel para el condicional de conformidad en la iluminancia promedio | 77 |
| Figura 24. Programación en Excel para el cálculo de la potencia total del salón | 81 |
| Figura 25. Programación en Excel para el cálculo del área del salón..... | 82 |
| Figura 26. Programación en Excel para el cálculo del VEEI..... | 82 |
| Figura 27. Programación en Excel del condicional de cumplimiento del límite de VEEI..... | 82 |
| Figura 28. Menú File | 88 |
| Figura 29. Menú Edit..... | 89 |
| Figura 30. Menú View | 90 |
| Figura 31. Menú Draw | 90 |
| Figura 32. Menú Arrange | 91 |
| Figura 33. Menú Gird | 92 |
| Figura 34. Menú Map..... | 93 |

| | |
|--|-----|
| Figura 35. Lámpara T-12 con bandeja mal fijada al cielo raso, salón 2412. | 101 |
| Figura 36. Lámpara C-12 en con soporte mal fijado al cielo raso, salón 7301 | 101 |
| Figura 37. Luminaria dañada, salón 8302..... | 102 |
| Figura 38. Desequilibrio en la distribución de la luminaria, salón 2412..... | 103 |

LISTA DE CUADROS

| | |
|---|-----|
| Cuadro 1. Tipos de fuentes luminosas en función de sus características de temperatura de color e índice de reproducción cromática. | 33 |
| Cuadro 2. Clasificación de fuentes luminosas artificiales | 35 |
| Cuadro 3. Espectro de emisión de color de diferentes tipos de lámparas | 48 |
| Cuadro 5. Valores límites de la eficiencia energética de la instalación..... | 51 |
| Cuadro 4. Especificaciones generales del luxómetro Lutrón LX-1108..... | 75 |
| Cuadro 6. Presupuesto para la realización del proyecto..... | 105 |
| Cuadro 7. Cronograma del proyecto..... | 106 |

LISTA DE ECUACIONES

| | |
|--|----|
| Ecuación 1. Valor de Eficiencia Energética de la Instalación..... | 50 |
| Ecuación 2. Modelo de regresión TIN..... | 55 |
| Ecuación 3. Iluminancia promedio en áreas regulares con luminarias espaciadas en dos o más filas..... | 73 |

LISTA DE ANEXOS

| | |
|--|-----|
| ANEXO 1. Medidas de iluminancia bloque 3 | 117 |
| ANEXO 2. Medidas de iluminancia bloque 5 | 118 |
| ANEXO 3. Medidas de iluminancia bloque 7 | 119 |
| ANEXO 4. Medidas de iluminancia bloque 8 | 120 |
| ANEXO 5. Medidas de iluminancia registradas bloque 9..... | 121 |
| ANEXO 6. Medidas de iluminancia registradas bloque Ei | 122 |
| ANEXO 7. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 2410 | 123 |
| ANEXO 8. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 2411 | 123 |
| ANEXO 9. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 3201 | 124 |
| ANEXO 10. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 3202 | 124 |
| ANEXO 11. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 3206 | 125 |
| ANEXO 12. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 3207 | 125 |
| ANEXO 13. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 3212 | 126 |
| ANEXO 14 Gráficas de iluminancia con SURFER salón 3301 | 126 |
| ANEXO 15. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 3302 | 127 |
| ANEXO 16. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 3303 | 127 |
| ANEXO 17. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 3304 | 128 |
| ANEXO 18. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 3305 | 128 |
| ANEXO 19. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 3306 | 129 |
| ANEXO 20. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 3407 | 129 |
| ANEXO 21. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 3408 | 130 |
| ANEXO 22. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 3409 | 130 |
| ANEXO 23. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 3410 | 131 |
| ANEXO 24. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 3411 | 131 |
| ANEXO 25. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 5201 | 132 |
| ANEXO 26. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 5202 | 132 |
| ANEXO 27. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 5203 | 133 |
| ANEXO 28. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 5204 | 133 |
| ANEXO 29. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 5206 ¡Error! Marcador no definido. | |
| ANEXO 30. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 5207 | 134 |
| ANEXO 31. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 5208 | 135 |
| ANEXO 32. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 5301 | 135 |
| ANEXO 33. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 5302 | 136 |
| ANEXO 34. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 5303 | 136 |
| ANEXO 35. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 5304 | 137 |
| ANEXO 36. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 5305 | 137 |
| ANEXO 37. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 5306 | 138 |
| ANEXO 38. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 5307 | 138 |
| ANEXO 39. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 5308 | 139 |

| | |
|---|-----|
| ANEXO 40. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 5309 | 139 |
| ANEXO 41. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 5310 | 140 |
| ANEXO 42. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 5311 | 140 |
| ANEXO 43. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 5312 | 141 |
| ANEXO 44. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 7201 | 142 |
| ANEXO 45. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 7202 | 142 |
| ANEXO 46. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 7203 | 143 |
| ANEXO 47. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 7204 | 143 |
| ANEXO 48. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 7301 | 144 |
| ANEXO 49. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 7302 | 144 |
| ANEXO 50. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 7303 | 145 |
| ANEXO 51. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 7304 | 145 |
| ANEXO 52. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 7401 | 146 |
| ANEXO 53. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 7402 | 146 |
| ANEXO 54. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 7403 | 147 |
| ANEXO 55. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 7404 | 147 |
| ANEXO 56. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 7501 | 148 |
| ANEXO 57. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 7502 | 148 |
| ANEXO 58. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 7503 | 149 |
| ANEXO 59. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 7504 | 149 |
| ANEXO 60. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 8301 | 150 |
| ANEXO 61. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 8302 | 150 |
| ANEXO 62. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 8303 | 151 |
| ANEXO 63. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 8304 | 151 |
| ANEXO 64. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 8401 | 152 |
| ANEXO 65. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 8402 | 152 |
| ANEXO 66. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 8403 | 153 |
| ANEXO 67. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 8404 | 153 |
| ANEXO 68. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 8501 | 154 |
| ANEXO 69. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 8502 | 154 |
| ANEXO 70. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 8503 | 155 |
| ANEXO 71. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 8504 | 155 |
| ANEXO 72. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 9201 | 156 |
| ANEXO 73. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 9202 | 156 |
| ANEXO 74. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 9203 | 157 |
| ANEXO 75. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 9301 | 157 |
| ANEXO 76. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 9302 | 158 |
| ANEXO 77. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 9303 | 158 |
| ANEXO 78. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 9304 | 159 |
| ANEXO 79. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 9401 | 159 |
| ANEXO 80. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 9402 | 160 |
| ANEXO 81. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 9403 | 160 |

| | |
|---|-----|
| ANEXO 82. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 9404 | 161 |
| ANEXO 83. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 9501 | 161 |
| ANEXO 84. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 9502 | 162 |
| ANEXO 85. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 9503 | 162 |
| ANEXO 86. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 9504 | 163 |
| ANEXO 87. Gráficas de iluminancia con SURFER salón Ei-101 | 163 |
| ANEXO 88. Gráficas de iluminancia con SURFER salón Ei-102 | 164 |
| ANEXO 89. Gráficas de iluminancia con SURFER salón Ei-103 | 164 |
| ANEXO 90. Gráficas de iluminancia con SURFER salón Ei-104 | 165 |
| ANEXO 91. Gráficas de iluminancia con SURFER salón Ei-105 | 165 |
| ANEXO 92. Gráficas de iluminancia con SURFER salón Ei-106 | 166 |
| ANEXO 93. Gráficas de iluminancia con SURFER salón Ei-107 | 166 |
| ANEXO 94. Gráficas de iluminancia con SURFER salón Ei-108 | 167 |
| ANEXO 95. Gráficas de iluminancia con SURFER salón Ei-109 | 167 |
| ANEXO 96. Gráficas de iluminancia con SURFER salón Ei-110 | 168 |

GLOSARIO

ACREDITACION: Es un testimonio que da el Estado sobre la calidad de un programa o institución con base en un proceso previo de evaluación en el cual intervienen la institución, las comunidades académicas y el Consejo Nacional de Acreditación. El proceso de acreditación tiene tres partes:

1. La Autoevaluación, proceso que realiza la institución.
2. La Evaluación Externa, a cargo de los pares académicos.
3. La Evaluación Final, realizada por el Consejo Nacional de Acreditación a partir de los resultados de las dos evaluaciones anteriores. A su término se configura el reconocimiento de la calidad que servirá de base al ministro de Educación Nacional para expedir el acto de acreditación, o se opta por hacer recomendaciones de mejoramiento de la institución o del programa.

ANOMALÍA: Irregularidad, anormalidad o falta de adecuación a lo que es habitual.

ALGORITMO: Conjunto prescrito de instrucciones o reglas bien definidas, ordenadas y finitas que permite realizar una actividad mediante pasos sucesivos que no generen dudas a quien deba realizar dicha actividad.

ÁREA DE TRABAJO: Lugar físico de trabajo identificado y delimitado donde una persona desarrolla sus actividades.

BRILLO: Luz o resplandor que refleja o emite un cuerpo.

CAMPO VISUAL: Lugar geométrico de todos los objetos o puntos en el espacio que pueden ser percibidos cuando la cabeza y los ojos de un observador se mantienen fijos. El campo puede ser monocular o binocular.

CALIDAD: Es una herramienta básica para una propiedad inherente de cualquier cosa que permite que esta sea comparada con cualquier otra de su misma especie. La palabra calidad tiene múltiples significados. De forma básica, se refiere al conjunto de propiedades inherentes a un objeto que le confieren capacidad para satisfacer necesidades implícitas o explícitas

CAPACIDAD VISUAL: Es la propiedad fisiológica del ojo humano para enfocar a los objetos a diferentes distancias, variando el espesor y por tanto la longitud focal del cristalino, por medio del músculo ciliar.

CONFORT VISUAL: Condición que manifiesta que hay ausencia de perturbaciones por parte del entorno visual.

CONSEJO NACIONAL DE ACREDITACIÓN: Es el conjunto de políticas, estrategias, procesos y organismos cuyo objetivo fundamental es garantizar a la sociedad que las instituciones de educación superior que hacen parte del sistema cumplen con los más altos requisitos de calidad y que realizan sus propósitos y objetivos.

CUERPO ÓPACO: Son cuerpos que no permiten el paso de los rayos luminosos.

DESLUMBRAMIENTO: Sensación producida por la luminancia dentro del campo visual que es suficientemente mayor que la luminancia a la cual los ojos están adaptados y que es causa de molestias e incomodidad o pérdida de la capacidad visual y de la visibilidad.

DIAGNÓSTICO: Análisis que se realiza para determinar cualquier situación y cuáles son las tendencias. Esta determinación se realiza sobre la base de datos y hechos recogidos y ordenados sistemáticamente, que permiten juzgar mejor qué es lo que está pasando.

FOTOMETRÍA: Medición de cantidades asociadas con la luz.

FUENTE LUMINOSA: Dispositivo que emite energía radiante capaz de excitar la retina y producir una sensación visual.

HALÓGENOS: (del griego, “formador de sales”) son los elementos químicos que forman el grupo 17 (VII A, utilizado anteriormente) de la tabla periódica: Flúor, Cloro, Bromo, Yodo y Ástato.

HALÓGENURO: (derivado del nombre griego halos = sal), es un compuesto binario en el cual una parte es un átomo halógeno y la otra es un elemento, catión o grupo funcional que es menos electronegativo que el halógeno. Según el átomo halógeno que forma el haluro éste puede ser un fluoruro, cloruro, bromuro o yoduro, todos elementos del grupo VII en estado de oxidación -1. Sus características químicas y físicas se suelen parecer para el cloruro hasta el yoduro siendo una excepción el fluoruro.

Pueden ser formados directamente desde los elementos o a partir del ácido HX (X = F, Cl, Br, I) correspondiente con una base. Todos los metales del Grupo 1 forman haluros con los halógenos, los cuáles son sólidos blancos. Un ion haluro un átomo halógeno que posee una carga negativa, como el fluoruro (F-) o cloruro (Cl-). Tales iones se encuentran presentes en todas las sales iónicas de haluro.

INCANDESCENCIA: Estado de un cuerpo, generalmente metálico, cuando se enrojece o blanquea por la acción del calor.

INDUCCIÓN: Es el fenómeno que origina la producción de una fuerza electromotriz (f.e.m. o voltaje) en un medio o cuerpo expuesto a un campo magnético variable, o bien en un medio móvil respecto a un campo magnético estático. Es así que, cuando dicho cuerpo es un conductor, se produce una corriente inducida. Este fenómeno fue descubierto por Michael Faraday quien lo expresó indicando que la magnitud del voltaje inducido es proporcional a la variación del flujo magnético (Ley de Faraday).

INTERPOLACIÓN: Obtención de nuevos puntos partiendo del conocimiento de un conjunto discreto de puntos.

ILUMINACIÓN: Acción o efecto de iluminar

ILUMINANCIA: Densidad del flujo luminoso que incide sobre una superficie. La unidad de iluminancia es el lux (lx).

ISOPLETA: La línea que une los puntos en los que una cierta magnitud es constante, en un mapa o diagrama. Es también conocida como isolínea o isograma.

MAPA DE CONTORNO: Conjunto de curvas de nivel.

NIVELES MÍNIMOS DE ILUMINACIÓN MANTENIDOS: Son los niveles de iluminación adecuados a la tarea que se realiza en un local o en una vía. Los ciclos de mantenimiento y limpieza se deben realizar para mantener los valores de iluminación mantenidos y tendrán que sustituirse las bombillas justo antes de alcanzar este nivel mínimo, de este modo se asegura que la tarea se pueda desarrollar según las necesidades visuales.

NO CONFORMIDAD: Incumplimiento de un requisito.

LED: Componente electrónico de estado sólido que comenzó a ser producido en la década del 60. La sigla LED se debe a la expresión "Light Emitting Diode" o, en español, diodo emisor de luz. Este tipo de semiconductores pertenece a la familia de los diodos. Los diodos tienen la particularidad que conducen la corriente eléctrica más fácilmente en un sentido que en otro.

LUMEN: (lm): Unidad de medida del flujo luminoso en el Sistema Internacional (SI). Radiométricamente, se determina de la potencia radiante; fotométricamente, es el flujo luminoso emitido dentro de una unidad de ángulo sólido (un estereorradián) por una fuente puntual que tiene una intensidad luminosa uniforme de una candela.

LUMINANCIA: En un punto de una superficie, en una dirección, se interpreta como la relación entre la intensidad luminosa en la dirección dada producida

por un elemento de la superficie que rodea el punto, con el área de la proyección ortogonal del elemento de superficie sobre un plano perpendicular en la dirección dada. La unidad de luminancia es candela por metro cuadrado. (Cd/m^2).

LUMINARIA: Aparato de iluminación que distribuye, filtra o transforma la luz emitida por una o más bombillas o fuentes luminosas y que incluye todas las partes necesarias para soporte, fijación y protección de las bombillas, pero no las bombillas mismas y, donde sea necesario, los circuitos auxiliares con los medios para conectarlos a la fuente de alimentación.

LUMINISCENCIA: La luminiscencia es el proceso en el cual la energía es absorbida por la materia y luego remitida en forma de fotones.

LUX (lx): Unidad de medida de iluminancia en el Sistema Internacional (SI). Un lux es igual a un lumen por metro cuadrado ($1 \text{ lx} = 1 \text{ lm/m}^2$)

LUXÓMETRO: Es un instrumento de medición que permite medir simple y rápidamente la iluminancia real y no subjetiva de un ambiente. La unidad de medida es lux (lx). Contiene una célula fotoeléctrica que capta la luz y la convierte en impulsos eléctricos, los cuales son interpretados y representada en una pantalla o aguja con la correspondiente escala de luxes.

LUZ: Parte de la radiación electromagnética que puede ser percibida por el ojo humano.

SISTEMA DE ILUMINACIÓN: Componentes de la instalación de iluminación y sus interrelaciones para su operación y funcionamiento.

TAREA VISUAL: Actividad que debe desarrollarse con determinado nivel de iluminación

USO RACIONAL DE LA ENERGÍA: Es la utilización de la energía, de tal manera que se obtenga la mayor eficiencia energética, bien sea de una forma original de energía y/o durante cualquier actividad de producción, transformación, transporte, distribución y consumo de las diferentes formas de energía, dentro del marco del desarrollo sostenible y respetando la normatividad, vigente sobre medio ambiente y los recursos naturales renovables.

RESUMEN

El propósito del presente trabajo de grado es presentar de manera completa un estudio que permitirá dar a conocer el estado actual del sistema de iluminación de las aulas de la Universidad de la Costa. En primer lugar se realizó la medición de los niveles de iluminancia de todas las aulas de clases de la institución mencionada, los datos recolectados fueron tabulados y luego procesados y evaluados de acuerdo a la metodología planteada por el RETILAP (Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público). Para graficar los resultados obtenidos se empleó el programa SURFER V9, el cual permite convertir una serie de datos en un mapa de contornos o en mapas en 3D. Todo esto acompañado de una inspección de los diferentes elementos que componen el sistema de iluminación de las aulas.

La investigación arrojó como resultado el incumplimiento de los niveles mínimos de iluminancia en varios de los espacios académicos, así mismo, se identificaron casos donde el Valor de la Eficiencia Energética de la Instalación superaba el límite establecido. Entre otros aspectos, es relevante mencionar el mal estado de algunas luminarias y el uso inadecuado de la luz natural.

Palabras claves: RETILAP, niveles de iluminancia, mapa de contorno, Utilización de la luz natural, Uso Racional de la Energía (URE)

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de grado contiene un diagnóstico realizado al sistema de iluminación de las aulas de la Universidad de la Costa, una entidad de educación superior del Caribe Colombiano, ubicada en la ciudad de Barranquilla. La temática abarca aspectos como la evaluación del nivel de iluminancia, la inspección del estado de las luminarias, la realización de un censo de carga, el cálculo del Valor de la Eficiencia Energética de la Instalación, entre otros.

La necesidad de conocer las condiciones del sistema de iluminación de las aulas de la Universidad de la Costa, nace como parte del proceso de acreditación que actualmente adelanta la institución. Así mismo es significativo resaltar que este es un proyecto de aplicación de conocimientos de varias áreas de la ingeniería eléctrica y permitió que los investigadores que intervinieron en el enfrentaran un campo más real de desenvolvimiento profesional, cercano a los retos que están por llegar en el día a día del ejercicio de su carrera.

El desarrollo de esta investigación está en mayor parte basada en las directrices establecidas por el Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público (RETILAP) para las instalaciones de alumbrado en interior, por lo cual gran parte de los parámetros empleados en la evaluación del sistema se extrajeron de este reglamento. Por otro lado, también se hizo uso de una herramienta tecnológica con el fin de poder visualizar algunos de los datos, que al ser presentados como simples números no alcanzaban a tomar una forma más visible para el entendimiento de los mismos. La herramienta mencionada es un programa propiedad de Golden Software, el cual permite convertir una serie de datos en mapas de contorno de acuerdo al uso de algoritmos de interpolación previamente seleccionados. En el caso presente, el algoritmo seleccionado es “Kriging”, debido a su flexibilidad de uso en diversos tipos de datos, característica no extensible a otros algoritmos del programa.

Se decidió desarrollar una investigación de tipos descriptiva, esto debido a que por medio de esta se puede realizar una descripción exacta de las características y condiciones del sistema de iluminación. Se puede observar a lo largo del trabajo un uso frecuente de la tabulación, elemento de gran relevancia en este tipo de investigación, debido a que por medio de ella es posible el análisis de información extensa de manera más sencilla. A lo anterior, se suma el uso del registro de campo como técnica de recolección de información, porque uno de los puntos primordiales en el proceso investigativo es la toma de medidas de iluminancia y la inspección de cada uno de los

componentes del sistema de iluminación, esta toma de medidas se realizó con un medidor de iluminancia o luxómetro. Todos los formatos de recolección de información empleados en la investigación se diseñaron por parte de los investigadores. Para este caso, la muestra elegida corresponde al 97.85% de las aulas de servicios generales de la Universidad de la Costa, los cuales forman 91 unidades de un total de 93.

El objetivo central del presente trabajo es realizar un diagnóstico del sistema de iluminación de las aulas la Universidad de la Costa, de acuerdo a la normativa y reglamentación vigente, el cual permita establecer si existen no conformidades o anomalías en el mismo y sirva como punto de partida para establecer un plan de mejora. Este plan de mejora no será construido en la investigación, pero se establecerá en ella un conjunto de recomendaciones que permitan dar inicio a la formulación del mismo.

Para el desarrollo de este trabajo de grado se estipularon 4 meses de trabajo divididos en seis etapas. La primera de ellas es una etapa de generalidades como la obtención de los permisos necesarios para el uso del equipo de medición y la búsqueda de planos arquitectónicos, los cuales no pudieron obtenerse. Posteriormente se realizaron las consultas bibliográficas, lo cual permitió elegir el método para realizar las mediciones de iluminancia, se ejecutó en levantamiento de planos arquitectónicos, así como el diseño de formatos de recolección de información. Para continuar con la investigación, se realizó la toma de medidas, el censo de carga y la inspección de los elementos que conforman el sistema estudiado. En la siguiente etapa se efectuó la selección del programa para graficar los resultados y el algoritmo de interpolación a emplear, luego los datos se procesaron y se realizaron los respectivos mapas de contorno. Todos los resultados se organizaron y se procesaron para dar inicio a su evaluación y posterior análisis, esto permitió establecer las recomendaciones necesarias para el sistema de iluminación. Por último toda la información se organizó en el presente documento.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La Universidad de la Costa es un establecimiento de educación superior ubicada en la ciudad de Barranquilla en uno de los sectores tradicionales de la misma. Esta entidad es consciente de la necesidad de establecer una cultura de mejora continua y ha decidido iniciar un proceso de acreditación, inicialmente por programas y posteriormente para todo la institución, el cual conlleva el cumplimiento de una serie de requisitos entre los que se encuentra el contar con condiciones de confort en todos y cada uno de los espacios de interacción académica. Entre las mencionadas condiciones de confort, se encuentra el confort visual, el cual se define como una “Condición que manifiesta que hay ausencia de perturbaciones por parte del entorno visual”¹ y está en función de diversos factores como²:

- Nivel de iluminación adecuada a la tarea.
- Fuente luminosa que proporcione una calidad de luz apropiada en consonancia con el ambiente que quiere obtener.
- Luminaria que no produzca ningún deslumbramiento molesto y cuya fotometría asegure un buen equilibrio de luminancias en el área.
- Implementación adecuada de las luminarias.

Realizar un estudio mediante el cual se pueda establecer si la Universidad de la Costa cumple con la reglamentación vigente en materia de iluminación, permitirá no solo conocer las condiciones actuales del sistema de iluminación, sino que proporcionaría además un punto de partida para establecer un plan de acción y mejora basado en la identificación de las falencias halladas previamente por dicho estudio y sus respectivas recomendaciones.

1.2 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA

En la actualidad la Universidad de la Costa no cuenta con un estudio formal que permita conocer el estado del sistema de iluminación de su infraestructura. Los niveles de iluminación jamás han sido medidos, aún cuando la institución

¹ PATTINI, Andrea. Jornada Técnica Arquitectura & Confort humano: Parámetros objetivos y subjetivos. Sine Loco. Jornada Técnica Tecnalia & CONICET [PDF]. Disponible desde internet:

<<http://ftp.cricyt.edu.ar/pub/apattini/conferencia%20A%20Pattini%20d%C3%ADa%206/CONFORT%20VISUAL%20AULAS%20Y%20OFICINAS.pdf>>

² Ibid. P 27.

cuenta con un luxómetro desde hace varios semestres. La necesidad de realizar este diagnóstico fue identificada a finales del año pasado por el ingeniero Jorge Iván Silva, de acuerdo a la meta de acreditación que se planteó la rectoría, quien dio inicio al mismo.

1.3 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

La situación planteada anteriormente merece formular los siguientes interrogantes:

- ¿Las aulas de la Universidad de la Costa brindan confort visual a sus estudiantes para el desarrollo de las diferentes tareas que su quehacer diario les asigna?
- ¿Puede un estudio como el descrito convertirse en un punto de partida para el diseño de un plan de mejora en caso de encontrarse anomalías, incumplimientos y/o no conformidades al finalizar el mismo?
- ¿Cumple el sistema de iluminación de las aulas de la Universidad de la Costa con la normativa y reglamentación vigente?

2. JUSTIFICACIÓN

Este proyecto parte de la necesidad de establecer si las aulas de La Universidad de la Costa cumplen con la reglamentación vigente en el país para sistemas de iluminación. Esto incluye como primer ítem a tratar la evaluación de los niveles de iluminancia requeridos y para continuar se demanda la presencia de unas condiciones de diseño como uso adecuado de la luz natural, enfoque de uso racional de la energía, selección adecuada de luminaria, entre otros. Es imperioso aclarar que muchas de las instalaciones de este establecimiento educativo se construyeron antes de la sanción del decreto por medio del cual entra en vigencia el Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público (RETILAP), principal documento guía para la realización de este estudio, razón por la cual no es de obligatorio cumplimiento en estas instalaciones, pero si es necesario que las condiciones de seguridad y operación mínimas sean garantizadas y la mejor forma de lograrlo es realizar un diagnóstico que permita establecer las condiciones actuales del sistema y determinar si estas condiciones están o no presentes.

Aunque no existe legalmente la necesidad de dar cumplimiento al reglamento mencionado, es importante mencionar que la institución ha iniciado un proceso para la obtención de la acreditación ante el Ministerio de Educación Nacional de Colombia, este es uno de los más exigentes procedimientos de evaluación académica a los que puede someterse una institución. “La acreditación es un testimonio que da el Estado sobre la calidad de un programa o institución con base en un proceso previo de evaluación en el cual intervienen la institución, las comunidades académicas y el Consejo Nacional de Acreditación”³.

Una de los requerimientos a cumplir por parte de la Universidad de la Costa para obtener la acreditación, es asegurar que existen condiciones de confort para el desarrollo de las actividades cotidiana de la personas que interactúan en el plantel educativo, iniciando por los estudiantes, quienes componen la mayoría de su población y extendiéndose a docentes, personal administrativo, directivas, entre otros. El confort se define como aquello que produce bienestar y comodidad; este puede ser de tipo visual, térmico, ergonómico, acústico entre otros. Las condiciones de confort visual son requeridas lugares donde se desarrollan tareas de tipo visual, es decir una “Actividad que debe desarrollarse con determinado nivel de iluminación”⁴. Al interior de la institución se desarrollan tareas de este tipo como por ejemplo lectura, escritura, dibujo, uso de

³ COLOMBIA, CONSEJO NACIONAL DE ACREDITACIÓN. Conozca el CNA, Sistema Nacional de Acreditación en Colombia [en línea]. Bogotá D.C. (Colombia). Disponible desde internet: <<http://www.cna.gov.co/1741/article-186365.html>>.

⁴ COLOMBIA. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Decreto 180540 (30, Marzo, 2010). Por la cual se modifica el Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público- RETILAP. Se establecen los requisitos de eficacia mínima y vida útil de las fuentes lumínicas y se dictan otras disposiciones. Bogotá D.C.: El ministerio, 2010. Anexo general 21 p.

instrumentos de laboratorio, uso de herramientas tecnológicas, manipulación de herramientas, aseo de instalaciones, uso de elementos de cocina y demás.

El desarrollo de este proyecto permitirá determinar si existe o no confort visual en las aulas de clases, las cuales conforman gran parte de los escenarios de la institución y son empleadas por todo tipo de estudiantes, indiferentemente de la carrera a la que pertenezcan. Se realizarán medidas de los niveles de iluminación de las áreas señaladas y estos resultados obtenidos de la mano con otro tipo de inspecciones, serán los parámetros empleados que permitirán cuantificar y cualificar la calidad de la iluminación que se brinda a la comunidad educativa, si las luminarias pueden ser consideradas como apropiadas para el ambiente que se desea y sí no hay presencia de fenómenos como deslumbramiento o desequilibrio.

Este proyecto es el primero de su tipo en ser realizado en la Universidad de la Costa, hasta el día de hoy no existe un estudio formal de los niveles de iluminación de la institución y por ello no es posible decir cuáles son las condiciones actuales del sistema de iluminación de la misma. En este caso es importante además mencionar que este proyecto permite a los estudiantes de ingeniería eléctrica afianzar y enlazar los conocimientos adquiridos en la carrera y les brinda la oportunidad de desempeñarse en un escenario más real y más cercano al que estará expuesto en su vida como profesional.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar un diagnóstico del sistema de iluminación de las aulas la Universidad de la Costa, de acuerdo a la normativa y reglamentación vigente, el cual permita establecer si existen no conformidades o anomalías en el mismo y sirva como punto de partida para establecer un plan de mejora.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar el sistema de iluminación de las aulas de clases de la Universidad de la Costa de acuerdo a la normativa y reglamentación vigente.
- Establecer las condiciones actuales del sistema de iluminación de los salones de la Universidad de la Costa.
- Efectuar un conjunto de recomendaciones para corrección y prevención de anomalías o no conformidades en el sistema de iluminación de la Universidad de la Costa.

4. MARCO REFERENCIAL

4.1 MARCO TEÓRICO

El presente proyecto de investigación está orientado al desarrollo de un diagnóstico del sistema de iluminación de las aulas de la Universidad de la Costa, en el cual se pondrán en práctica los saberes adquiridos en asignaturas como instalaciones eléctricas y Uso Racional de la Energía para establecer posibles no conformidades, anomalías o condiciones inseguras en el mismo. Teniendo en cuenta lo anterior se plantea una breve descripción de conceptos centrales para este proyecto.

- Diagnóstico: (del griego *diagnostikós*, a su vez del prefijo *día-*, "a través", y *gnosis*, "conocimiento" o "apto para conocer") alude, en general, al análisis que se realiza para determinar cualquier situación y cuáles son las tendencias. Esta determinación se realiza sobre la base de datos y hechos recogidos y ordenados sistemáticamente, que permiten juzgar mejor qué es lo que está pasando⁵.
- Iluminación: Acción y efecto de iluminar⁶.
- Sistema de iluminación: Componentes de la instalación de iluminación y sus interrelaciones para su operación y funcionamiento⁷.

La finalidad de los sistemas de iluminación es básicamente proveer de luz un espacio determinado de acuerdo a unas demandas establecidas, pero su diseño e implementación de no son producto del azar, existe todo un proceso previo al diseño de un sistema de iluminación y su punto de partida está marcado por las necesidades que motivan el desarrollo del mismo. El diseñador debe interactuar con el ambiente o los ambientes a iluminar, no solo desde el punto de vista físico y arquitectónico, sino además desde la utilidad del mismo. Se requiere definir las condiciones de uso del espacio, el tipo de usuarios y la tareas a desarrollar en el.

4.1.1 Fuentes luminosas. Una fuente luminosa es un dispositivo que emite energía radiante capaz de excitar la retina y producir una sensación visual⁸. La selección de las luminarias y las fuentes luminosas constituyen aspectos

⁵ Disponible desde internet < <http://es.wikipedia.org/wiki/Diagn%C3%B3stico>>.

⁶ COLOMBIA, MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Op. Cit., p.19.

⁷ Ibid., p.21.

⁸ Ibid., p.18.

fundamentales en la tarea del diseñador y está basada en aspectos como⁹ la eficacia lumínica, flujo luminoso, características fotométricas, reproducción cromática, temperatura del color de la fuente, duración y vida útil de la fuente.

4.1.1.1 Características generales de una fuente luminosa. Las fuentes luminosas poseen una serie de características con sus respectivas unidades de medidas, las cuales forman parte de criterios empleados al momento de diseñar un sistema de iluminación como lo son¹⁰:

A. Candela (cd): Unidad del Sistema Internacional (SI) de intensidad luminosa. Una candela es igual a un lúmen por estereorradián. Una candela se define como la intensidad luminosa, en una dirección dada, de una fuente que emite una radiación monocromática de una frecuencia de 540×10^{12} Hz y en la cual la intensidad radiante en esa dirección es 1/683 W por estereorradián.

B. Depreciación lumínica: Disminución gradual de emisión luminosa durante el transcurso de la vida útil de una fuente luminosa.

C. Eficacia luminosa de una fuente: Relación entre el flujo luminoso total emitido por una fuente luminosa (bombilla) y la potencia de la misma. La eficacia de una fuente se expresa en lúmenes/vatio (lm/W).

D. Flujo luminoso (Φ): Cantidad de luz emitida por una fuente luminosa en todas las direcciones por unidad de tiempo. Su unidad es el lúmen (lm).

E. Iluminancia (E): Densidad del flujo luminoso que incide sobre una superficie. La unidad de iluminancia es el lux (lx).

F. Índice de rendimiento de color (Ra): Efecto de una fuente de luz sobre el aspecto cromático de los objetos que ilumina por comparación con su aspecto bajo una fuente de luz de referencia. La forma en que la luz de una bombilla reproduce los colores de los objetos iluminados se denomina índice de rendimiento de color (Ra). El color que presenta un objeto depende de la distribución de la energía espectral de la luz con que está iluminado y de las características reflexivas selectivas de dicho objeto.

G. Índice de reproducción cromática (IRC): Las propiedades de una fuente de luz, a los efectos de la reproducción de los colores, se valorizan mediante el “Índice de Reproducción Cromática” (IRC) ó CRI (“Color Rendering

⁹ Ibíd., p.28.

¹⁰ Ibíd., p.15-22.

Index”). Este factor se determina comparando el aspecto cromático que presentan los objetos iluminados por una fuente dada con el que presentan iluminados por una “luz de referencia” (Ver cuadro 1). Los espectros de las bombillas incandescentes ó de la luz del día contienen todas las radiaciones del espectro visible y se los considera óptimos en cuanto a la reproducción cromática; se dice que tienen un IRC= 100.

Cuadro 1. Tipos de fuentes luminosas en función de sus características de temperatura de color e índice de reproducción cromática.

| Índice de reproducción cromática (Ra) o (CRI) % | Clase | Cálido < 3.300 K | Neutro 3.300 – 5.000K | Frio >5.000 K | Criterio de aplicación |
|---|------------|-----------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|--|
| ≥ 90 | 1 A | Halógenas | Fluorescente lineal y compacta | Fluorescente lineal y compacta | Principalmente donde la apreciación del color sea un parámetro crítico |
| | | Fluorescente lineal y compacta | Halogenuros metálicos y cerámicos | | |
| | | Halogenuros metálicos y cerámicos | | | |
| 80 - 89 | 1 B | Fluorescente lineal y compacta | Fluorescente lineal y compacta | Fluorescente lineal y compacta | En áreas donde la apreciación correcta del color no es una consideración primaria pero donde es esencial una buena reproducción de colores |
| | | Halogenuros metálicos y cerámicos | Halogenuros metálicos y cerámicos | | |
| | | Sodio Blanco | | | |
| 70 - 79 | 2 A | Halogenuros metálicos | Halogenuros metálicos | Halogenuros metálicos | En áreas donde la calidad de apreciación correcta del color es de poca importancia |
| < 70 | 2 B, 3 y 4 | Mercurio | Mercurio | | |
| | | Sodio | | | |

Fuente COLOMBIA. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Decreto 180540 (30, Marzo, 2010). Por la cual se modifica el Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público- RETILAP. Se establecen los requisitos de eficacia mínima y vida útil de las fuentes lumínicas y se dictan otras disposiciones. Bogotá D.C.: El ministerio, 2010. Anexo general 33 p.

H. Lúmen (Im): Unidad de medida del flujo luminoso en el Sistema Internacional (SI). Radiométricamente, se determina de la potencia radiante; fotométricamente, es el flujo luminoso emitido dentro de una unidad de ángulo sólido (un estereorradián) por una fuente puntual que tiene una intensidad luminosa uniforme de una candela.

I. Luminancia: En un punto de una superficie, en una dirección, se interpreta como la relación entre la intensidad luminosa en la dirección dada producida por un elemento de la superficie que rodea el punto, con el área de la proyección ortogonal del elemento de superficie sobre un plano perpendicular en la dirección dada. La unidad de luminancia es candela por metro cuadrado. (Cd/m²)

J. Lux (lx): Unidad de medida de iluminancia en el Sistema Internacional (SI). Un lux es igual a un lumen por metro cuadrado ($1 \text{ lx} = 1 \text{ lm/m}^2$)

K. Potencia nominal de una fuente luminosa: Potencia requerida por la fuente luminosa, según indicación del fabricante, para producir el flujo luminoso nominal. Se expresa en vatios (W).

L. Vida física (de una fuente luminosa): Promedio de tiempo transcurrido, expresado en horas, antes de que la fuente luminosa deje de funcionar completa y definitivamente, por haberse dañado cualquiera de sus componentes, sin que hayan interferido influencias externas.

4.1.1.2 Clasificación de una fuente luminosa según su naturaleza. De acuerdo a su naturaleza estas pueden ser de tipo:

A. Natural: Las estrellas son la principal fuente luminosa natural. En nuestra galaxia el sol es la más grande conocida hasta ahora, pero debido a la composición arquitectónica de las ciudades y las características propias del mismo, cada vez se hace más difícil hacer uso de ella, por lo cual el hombre desde hace más de medio siglo ha hecho uso de otro tipo de elementos para satisfacer sus necesidades en esta materia.

B. Artificiales: Este tipo de fuente hace uso de diferentes fenómenos fisicoquímicos como por ejemplo la combustión, en la actualidad este tipo de reacciones pueden ser controladas y se ocasionan dentro de unidades que reciben el nombre lámparas o bombillas.

4.1.1.3 Clasificación de una fuente luminosa artificial. Las fuentes luminosas artificiales pueden clasificarse (Ver cuadro 2) de acuerdo a la forma como se produce la emisión en¹¹:

A. Incandescentes: Cuando un cuerpo adquiere una temperatura determinada, sus átomos sufren choques que los llevan a estados excitados, con la subsiguiente des-excitación y producción de radiación de un espectro continuo. Esta forma de generar radiación luminosa recibe el nombre de incandescencia.

¹¹ UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL. Manual de Iluminación Eficiente [PDF]. [Buenos Aires, Argentina]. Editorial EDUTECNE, 2006. Capítulo IV. Fuentes de iluminación. Disponible desde internet < <http://www.edutecne.utn.edu.ar/eli-iluminacion/cap04.pdf>>.

B. Luminiscentes: La luminiscencia es el proceso en el cual la energía es absorbida por la materia y luego remitida en forma de fotones. Dentro de este fenómeno puede ocurrir que la emisión ocurra casi inmediatamente a la excitación, denominándose este caso *fluorescencia*, mientras que cuando hay un retardo entre estos dos procesos, excitación y emisión, se llama *fosforescencia*.

Cuadro 2. Clasificación de fuentes luminosas artificiales

| | | | | | |
|--------------------------------|----------------------|------------------------|-----------------|--------------|---------------------|
| FUENTES LUMINOSAS ARTIFICIALES | Luminiscencia | | Descarga en gas | Baja presión | Fluorescente lineal |
| | | | | | Compacta |
| | | | | | Inducción |
| | | | | | Sodio de baja |
| | | | | Alta presión | Sodio de alta |
| | | | | | Mercurio |
| | | | | | Halogenuro metálico |
| | | | | | Fotoluminiscencia |
| | Electroluminiscencia | LED's | | | |
| | Incandescencia | Incandescente estándar | | | |
| Incandescente halógena | | | | | |

Fuente UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL. Manual de Iluminación Eficiente [Documento PDF]. [Buenos Aires, Argentina]. Editorial EDUTECNE, 2006. Capítulo IV. Fuentes de iluminación. Disponible desde internet < <http://www.edutecne.utn.edu.ar/eli-iluminacion/cap04.pdf>>.

A. Lámparas incandescentes

a) Incandescente estándar. La incandescencia en una lámpara de filamento (Ver figura 1) es causada por el calentamiento debido al paso de una corriente eléctrica. La corriente es transportada por el movimiento de electrones libres a través de una apretada red de átomos o iones (átomos que han perdido un electrón, quedando cargados positivamente) que, salvo por las vibraciones térmicas, están inmóviles. Los conductores metálicos contienen aproximadamente tantos electrones libres como átomos o iones fijos, de lo que se deriva su alta conductividad eléctrica. Si bien las moléculas de sólidos o gases están en constante movimiento a temperaturas por arriba del cero absoluto y su movimiento es función de la temperatura, la emisión en el rango visible comienza a temperaturas mayores de 600 °C. El efecto directo del pasaje de una corriente eléctrica a través de un conductor es el calentamiento

de éste, de manera que si el calentamiento es suficiente para excitar los átomos se produce la emisión en el rango visible¹².

Figura 1. Lámpara incandescente estándar



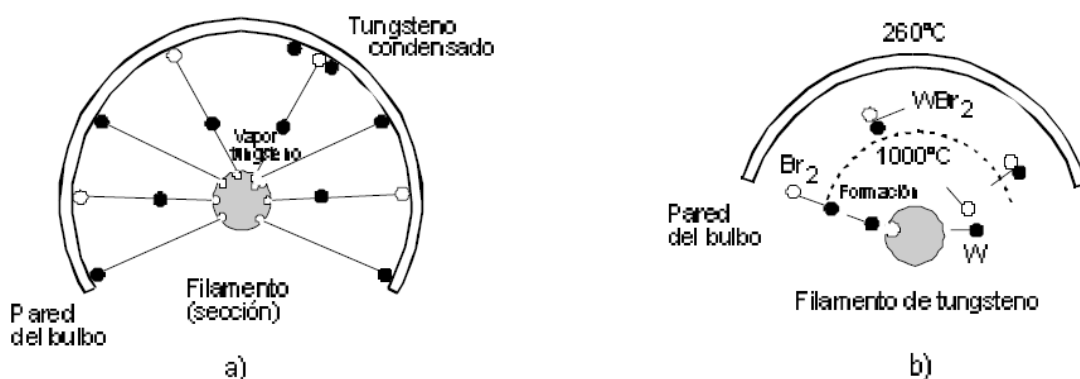
Fuente UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL. Manual de Iluminación Eficiente [PDF]. [Buenos Aires, Argentina]. Editorial EDUTECNE, 2006. Capítulo IV. Fuentes de iluminación. Disponible desde internet < <http://www.edutecne.utn.edu.ar/eli-iluminacion/cap04.pdf>>.

b) Lámpara incandescente halógena. La necesidad de mejorar la relación eficacia-vida en las lámparas incandescentes convencionales llevó a la incorporación de un gas haluro aditivo (bromo, cloro, flúor y yodo) el cual produce un ciclo regenerativo del filamento. El término halógeno es el nombre que se da a esta familia de elementos electro-negativos. El yodo fue usado en las primeras lámparas pero hoy en día se usa el bromo.

En la figura 2 a) se muestra el proceso de evaporación del tungsteno para una lámpara incandescente convencional en la que el tungsteno evaporado se deposita en el bulbo. La figura 2 b) corresponde al ciclo halógeno para una lámpara incandescente halógena para el caso en que el aditivo es bromo en forma de compuesto orgánico o bromuro de metileno (CH_2Br_2). El vapor de tungsteno se combina con el halógeno para formar bromuro de tungsteno (WBr_2), el cual permanece en estado gaseoso en vez de depositarse en las paredes de la ampolla. Cuando una molécula de bromuro de tungsteno se acerca al filamento caliente se descompone en Tungsteno (W) y 2Br , dando lugar a que el tungsteno se redeposite sobre el filamento, reiniciándose el ciclo.

¹² UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL. Op. Cit., p.6-8.

Figura 2. a) Proceso de evaporación del tungsteno en una lámpara incandescente convencional y b) Ciclo halógeno en una lámpara halogenada.



Fuente UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL. Manual de Iluminación Eficiente [Documento PDF]. [Buenos Aires, Argentina]. Editorial EDUTECNE, 2006. Capítulo IV. Fuentes de iluminación. Disponible desde internet < <http://www.edutecne.utn.edu.ar/eli-iluminacion/cap04.pdf>>.

Aun con esta mejora introducida en las lámparas halógenas el tungsteno no siempre se deposita en aquellos lugares de donde se evaporó, por lo que la vida de estas lámparas tiene un valor finito.

Las altas temperaturas de las paredes de la ampolla (una temperatura mínima de la ampolla de 260°C), necesarias para mantener el ciclo halógeno, exige un tamaño reducido de la misma. Como consecuencia de esto, las temperaturas son elevadas y por tanto la ampolla se construye de un material más resistente como es el cuarzo. Debido a la forma más compacta de estas lámparas, la presión admisible del gas puede ser mayor, con lo cual se reduce su velocidad de evaporación, y la posibilidad de usar un gas de mayor densidad, tal como el kriptón o xenón en vez de argón o nitrógeno, aunque los mismos son de mayor precio. Este proceso lógicamente aumenta su vida.

Estas lámparas generan mayor cantidad de ultravioleta (UV) que las incandescentes convencionales, debido a la mayor temperatura del filamento. La cantidad de UV emitida está determinada por el material del bulbo, como es el caso del cuarzo. Por tanto en las aplicaciones donde es crítica esta radiación, caso de obras de arte, el uso de un filtro es casi obligatorio. Especial cuidado debe tenerse cuando se usan lámparas con una temperatura de color por arriba de 3100K , dado que la radiación emitida tanto en el ultravioleta como

en las bajas longitudes de onda del visible aumenta con la temperatura creando una fuente potencial de daño¹³.

B. Lámparas luminiscentes

a) Lámpara fluorescente. Las lámparas fluorescentes (Ver figura 3) pertenecen a la categoría de lámparas de descarga en gases a baja presión. Están constituidas básicamente por un bulbo o tubo de descarga con vapor de mercurio y recubierto de polvos fluorescentes (denominados “fósforos”) en la pared interior del tubo para la conversión de radiación UV en visible, un par de electrodos sellados herméticamente en los extremos del tubo y los casquillos que proporcionan la adecuada conexión eléctrica a la fuente de suministro de energía¹⁴.

Figura 3. Distintos tipos de lámparas fluorescentes



Fuente UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL. Manual de Iluminación Eficiente [Documento PDF]. [Buenos Aires, Argentina]. Editorial EDUTECNE, 2006. Capítulo IV. Fuentes de iluminación. Disponible desde internet < <http://www.edutecne.utn.edu.ar/eli-iluminacion/cap04.pdf>>.

La descarga eléctrica en una atmósfera de mercurio a baja presión es convertida principalmente en radiación UV. Típicamente alrededor del 63% es convertida en radiación UV-C en longitudes de onda de 185.0 nm y en 253.7 nm. Una pequeña cantidad de energía, aproximadamente el 3%, es convertida directamente en radiación visible, predominantemente en las longitudes de onda de 405 nm (violeta), 436 nm (azul), 546 nm (verde) y 577 nm (amarillo). El

¹³ UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL. Op. Cit., p.22.

¹⁴ UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL. Op. Cit., p.26.

efecto de estas mezclas de cuatro colores le da a la descarga un color azul pálido. El resto de la energía es disipada en forma de calor, en los electrodos y en la descarga, como consecuencia de los choques entre iones y átomos del gas.

La cantidad de radiación producida en las dos líneas de UV depende principalmente de:

- ✓ La presión de vapor del mercurio
- ✓ El gas auxiliar
- ✓ La densidad de corriente
- ✓ Las dimensiones del tubo de descarga.

b) Lámpara Fluorescente Compacta. Las lámparas fluorescentes compactas han surgido como consecuencia del uso de fósforos activados con tierras raras y con la contribución de la electrónica, las cuales, conservando la eficacia y vida de las fluorescentes lineales, pueden competir con las lámparas incandescentes aún en el hogar.

Estas lámparas fueron originalmente diseñadas para ser intercambiadas con las lámparas incandescentes de 25 a 100 W, pero ya hoy en día existen lámparas compactas de diferentes potencias, color, tamaños y formas similares a las incandescentes, incluso hasta contienen reflectores incorporados que pueden reemplazar a las fluorescentes lineales en luminarias pequeñas. En ellas se usan los tubos T-4 y T-5 de forma curvada o plegada de manera compacta y plana, o bien dos o más tubos paralelos de pequeño diámetro, interconectados entre sí y con un solo casquillo. Existen muchas técnicas de sellado, conexión entre tubos y de recubrimiento interior, que permiten la obtención de diferentes tamaños y flujos luminosos. La parte del tubo es a menudo encerrada en una cápsula de vidrio o plástico con forma cilíndrica o esférica.

Originalmente las lámparas compactas incluían un balasto inductivo convencional (compacta integrada), lo que traía como consecuencia un peso bastante mayor que las lámparas incandescentes. Dado que gran parte de este peso estaba dado por el balasto, surgió la idea de separar la lámpara del balasto con el fin de hacerla más liviana, eficiente y practica. La separación lámpara–balasto o sistema modular tiene como ventaja la posibilidad de reponer la lámpara sin necesidad de hacer lo mismo con el balasto, teniendo en cuenta que el tiempo de duración del balasto es mucho mayor que el de la lámpara, aproximadamente en una relación de 3 a 10. Sin embargo la aparición de balastos electrónicos de menores dimensiones y peso, junto al aumento de

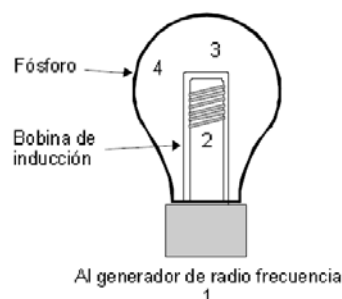
vida de las lámparas compactas, ha llevado en estos últimos años a la fabricación masiva de lámparas compactas integrales con balastos electrónicos.

Las lámparas fluorescentes compactas (LFC) actuales tienen rangos de potencia entre 5 a 55 W, con flujo luminoso entre 250 a 4800 lm. Sus dimensiones varían entre 100 a 540 mm de longitud máxima, dependiendo de la potencia y construcción. Las LFC que incluyen el balasto tienen rosca tipo Edison permitiendo reemplazar directamente a una incandescente, mientras que aquellas modulares tienen casquillos especiales a fin de que no sean intercambiadas con una incandescente sin tomar los recaudos necesarios.

c) Lámpara de inducción. Las lámparas sin electrodos usan un campo electromagnético (EM) desde afuera del tubo en lugar de la aplicación de una tensión adentro para iniciar la descarga. Las lámparas de descarga inductiva, conocidas como lámparas de inducción, se las asocia a lámparas fluorescentes sin electrodos ya que producen luz excitando los mismos fósforos convencionales de las fluorescentes.

En este tipo de lámparas (Ver figura 4) un equipo de radio frecuencia (1) envía una corriente eléctrica a la bobina de inducción (2), la cual es un alambre enrollado sobre un núcleo metálico o plástico. La corriente que pasa a través de la bobina de inducción genera un campo electromagnético. El campo electromagnético excita al gas mercurio (3) contenido dentro de una ampolla, el cual emite radiación UV. Esta energía UV excita la capa de fósforos que cubre la ampolla del bulbo, produciendo radiación visible (4).

Figura 4. Lámpara de inducción



Fuente UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL. Manual de Iluminación Eficiente [Documento PDF]. [Buenos Aires, Argentina]. Editorial EDUTECNE, 2006. Capítulo IV. Fuentes de iluminación. Disponible desde internet < <http://www.edutecne.utn.edu.ar/eli-iluminacion/cap04.pdf>>.

d) Lámpara de sodio a baja presión. La lámpara de sodio de baja presión (Ver figura 5) es similar a la de mercurio de baja presión o fluorescente, pero en este caso contiene un vapor de sodio a baja presión donde se produce el arco. Para facilitar el arranque se agrega neón con una cierta proporción de argón, de modo que la lámpara puede arrancar con una tensión de pico entre 500 y 1500 V, según el tipo de lámpara. Una vez que se ha encendido y que el gas se ha ionizado, la descarga inicial se produce en el neón, de aquí su color rojo. En operación normal, la luz producida es casi monocromática, la que consiste en una línea doble del sodio de 589,0 nm y 589,6 nm (amarillo).

Figura 5. Lámpara de sodio a baja presión



Fuente UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL. Manual de Iluminación Eficiente [Documento PDF]. [Buenos Aires, Argentina]. Editorial EDUTECNE, 2006. Capítulo IV. Fuentes de iluminación. Disponible desde internet < <http://www.edutecne.utn.edu.ar/eli-iluminacion/cap04.pdf>>.

Aunque solo el 35 a 40% de la potencia de entrada se transforma en energía visible es el doble de la eficacia luminosa de una lámpara fluorescente tubular. Esto se debe a que esta línea se encuentra cerca del máximo de la sensibilidad del ojo humano y a que no hay pérdidas de energía en transformación fluorescente del UV a radiación visible. Los valores de eficacia se encuentran entre 100 y 200 lm/W, dependiendo de la potencia. Aunque es la fuente de mayor eficacia no permite discriminar los colores, con una apariencia de color amarillo, por lo que no es posible asignarle un índice de rendimiento de color. Sin embargo se le atribuye una temperatura de color correlacionada de 1800 K.

La vida nominal puede llegar hasta 14000 horas y una vida útil de hasta 18000 h. Este alto valor se debe a la baja depreciación del flujo luminoso y a su bajo índice de fallos.

e) Lámparas de descarga de alta intensidad (HID). Las lámparas de descarga de alta intensidad (HID) incluyen al grupo de las conocidas lámparas de mercurio, mercurio halogenado y las de sodio de alta presión.

Todas estas lámparas producen luz mediante una descarga eléctrica de arco en un bulbo interior o tubo de descarga el cual a su vez está dentro de un bulbo exterior. El tubo de arco contiene electrodos sellados en cada extremo y contiene un gas de encendido que es relativamente fácil de ionizar a baja presión y temperatura ambiente. Este gas de encendido es generalmente argón o xenón o una mezcla de argón, neón o xenón dependiendo del tipo de lámpara. El tubo de arco también contiene metales o compuestos de halogenuros metálicos que, cuando se evaporan en la descarga, producen líneas características de la energía radiante, de modo que cada tipo de lámpara de descarga de alta intensidad produce luz de acuerdo al tipo de metal contenido en el arco. Así, las de vapor de mercurio producen radiación visible excitando los átomos de mercurio, las de sodio de alta presión excitando los átomos de sodio, y las de halogenuros metálicos excitando átomos y moléculas de sodio, escandio, tulio, holmio y disprosio.

i. Lámparas de vapor de mercurio de alta presión. La lámpara de vapor de mercurio (Ver figura 6) consiste en un tubo de descarga de cuarzo relleno de vapor de mercurio, el cual tiene dos electrodos principales y uno auxiliar para facilitar el arranque.

La luz que emite es color azul verdoso, no contiene radiaciones rojas. Para resolver este problema se acostumbra añadir sustancias fluorescentes que emitan en esta zona del espectro. De esta manera se mejoran las características cromáticas de la lámpara, Aunque también están disponibles las bombillas completamente transparentes las cuales iluminan bien en zonas donde no se requiera estrictamente una exacta reproducción de los colores.

Figura 6. Lámpara de vapor de mercurio de alta presión



Fuente UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL. Manual de Iluminación Eficiente [Documento PDF]. [Buenos Aires, Argentina]. Editorial EDUTECNE, 2006. Capítulo IV. Fuentes de iluminación. Disponible desde internet < <http://www.edutecne.utn.edu.ar/eli-iluminacion/cap04.pdf>>.

ii. **Lámpara de halogenuros metálicos.** Estas lámparas (Ver figura 7) contienen halogenuros metálicos de cloro e yodo, además del mercurio y una mezcla de argón para el encendido. Cuando la lámpara alcanza su temperatura de funcionamiento estos halogenuros metálicos se vaporizan parcialmente disociándose en halógenos e iones metálicos. De este modo en la lámpara se forman los siguientes elementos:

- Halogenuros metálicos no agresivos, cerca de la pared del tubo de descarga
- Iones metálicos y de halógeno en el centro de la descarga. Los iones metálicos son los que emiten radiación.
- Cuando los iones metálicos y halógenos se acercan, sea por convección o difusión, a las partes más frías del tubo se recombinan y el ciclo se repite —ciclo del halogenuro. Ambos son potencialmente agresivos pero, debido a la menor temperatura de la zona exterior, no pueden alcanzar la pared del tubo sin antes recombinarse.

Figura 7. Lámpara de halogenuros metálicos



Fuente UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL. Manual de Iluminación Eficiente [Documento PDF]. [Buenos Aires, Argentina]. Editorial EDUTECNE, 2006. Capítulo IV. Fuentes de iluminación. Disponible desde internet < <http://www.edutecne.utn.edu.ar/eli-iluminacion/cap04.pdf>>.

El mercurio ya no actúa como generador de luz, sino como regulador. El uso de estos metales halogenuros presenta dos ventajas:

- Los halogenuros metálicos son más volátiles a la temperatura de operación del tubo que los metales puros.
- Aquellos metales que reaccionan químicamente con el tubo pueden ser usados en forma de halogenuros, que de este modo no lo hacen.

iii. Lámpara de sodio a alta presión. La lámpara de sodio de alta presión (Ver figura 8) radia en todo el espectro visible, en contraste con las lámparas de sodio de baja presión, que solo radia el doblete D del sodio en 589 nm. Las lámparas de sodio estándar, con una presión del sodio entre 5 a 10 kPa, poseen en general una temperatura de color entre 1900 a 2200 K y un índice de rendimiento de color de 22. A medida que la presión del sodio aumenta por arriba de 27 kPa, la línea de radiación D (589 nm) del sodio es absorbida por el gas circundante más frío y reemitida como un espectro casi continuo a ambos lados de las líneas D, haciéndose éstas cada vez más débiles. Esto resulta en una región “negra” de 20 nm de ancho en la zona de 589 nm.

Incrementado la presión del vapor de sodio incrementa el porcentaje de longitudes de onda larga emitidas, mejora el índice de rendimiento del color hasta un valor de 65, aunque la eficacia y la vida disminuyen.

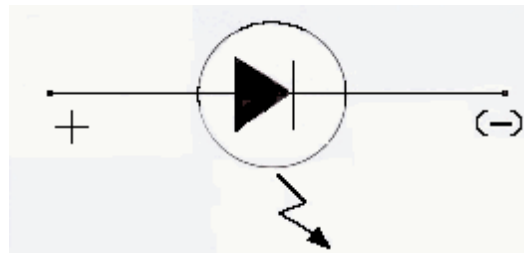
Figura 8. Lámpara de sodio a alta presión



Fuente UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL. Manual de Iluminación Eficiente [Documento PDF]. [Buenos Aires, Argentina]. Editorial EDUTECNE, 2006. Capítulo IV. Fuentes de iluminación. Disponible desde internet < <http://www.edutecne.utn.edu.ar/eli-iluminacion/cap04.pdf>>.

C. LED. Un LED es un componente electrónico de estado sólido que comenzó a ser producido en la década del 60. La sigla LED se debe a la expresión “Light Emitting Diode” o, en español, diodo emisor de luz. Este tipo de semiconductores pertenece a la familia de los diodos. Los diodos tienen la particularidad que conducen la corriente eléctrica más fácilmente en un sentido que en otro (Ver figura 9).

Figura 9. Símbolo de un LED



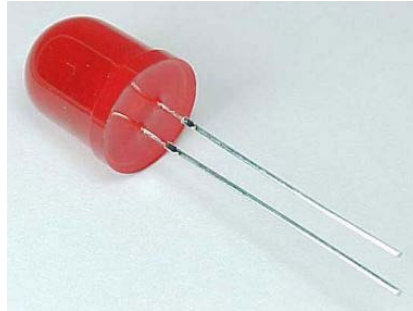
Fuente UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL. Manual de Iluminación Eficiente [Documento PDF]. [Buenos Aires, Argentina]. Editorial EDUTECNE, 2006. Capítulo IV. Fuentes de iluminación. Disponible desde internet < <http://www.edutecne.utn.edu.ar/eli-iluminacion/cap04.pdf>>.

Este tipo de semiconductores son del tipo p-n. La adición de impurezas selectivas a un cristal semiconductor puede producir un exceso de electrones libres en la banda de conducción. Estos son semiconductores tipo-n. Semiconductores tipo-p se logran usando otras impurezas que producen excesos de agujeros (ausencia de un electrón) en la banda de valencia, donde un agujero tiene una carga igual y opuesta a la del electrón. En el material tipo-p los electrones son conductores de carga minoritaria mientras los agujeros la mayoritaria. La inversa ocurre para el material tipo-n. Existen técnicas para preparar un cristal único casi perfecto en el cual se produce el cambio de conductividad entre la parte tipo-p a la tipo-n dentro de una pequeña región de transición. Esto es lo que se llama unión p-n. Cuando se aplica una diferencia de tensión en una unión p-n desde la región p a la n, los agujeros fluyen hacia el lado tipo-n y los electrones hacia el lado tipo-p. Un electrón en una banda (banda de conducción) se combina con un agujero de otra banda (banda de valencia) produciéndose la emisión de un fotón de energía electromagnética. Los materiales que componen la unión p-n determinan el salto de energía y la eficacia del LED.

Una lente clara o difusa, hecha con una resina epoxi, cubre el chip semiconductor y sella al LED en forma de cápsula. La misma provee también un control óptico a la luz emitida, ya que incrementa el flujo luminoso y reduce las reflexiones en la superficie del semiconductor, logrando de este modo una variedad de distribuciones angulares (Ver figura 10). Un LED difiere tanto de

una lámpara incandescente como de una de descarga. No incluye ningún filamento como las incandescentes, que pueden romperse o quemarse, ni electrodos como la mayoría de las lámparas de descarga.

Figura 10. LED



Fuente UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL. Manual de Iluminación Eficiente [Documento PDF]. [Buenos Aires, Argentina]. Editorial EDUTECNE, 2006. Capítulo IV. Fuentes de iluminación. Disponible desde internet < <http://www.edutecne.utn.edu.ar/eli-iluminacion/cap04.pdf>>.

4.1.2 Requisitos generales del diseño de alumbrado interior. El diseño de la iluminación debe estar íntimamente ligado con el área que va a ser iluminada. Los factores a tener en cuenta son la forma y tamaño de los espacios, los colores y las reflectancias de las superficies del salón, la actividad a ser desarrollada, la disponibilidad de la iluminación natural y también los requerimientos estéticos requeridos por el cliente.

Para una adecuada iluminación se debe tener una estrecha interacción entre el diseñador de la iluminación y diseñadores y constructores de la edificación.

Los ítems más importantes que el diseñador necesita investigar antes iniciar un diseño de alumbrado interior son los siguientes:

- ✓ Conocer con detalles las actividades asociadas con cada espacio.
- ✓ Las exigencias visuales de cada puesto de trabajo y su localización.
- ✓ Las condiciones de reflexión de las superficies
- ✓ La disponibilidad de la iluminación natural.
- ✓ Los niveles de iluminancia e uniformidad requeridas.
- ✓ El Control del deslumbramiento.
- ✓ Los requerimientos especiales en las propiedades de las luminarias, por el tipo de aplicación.
- ✓ Propiedades de las fuentes, tales como:

- El índice de reproducción del color, lo natural que aparecen los objetos bajo la luz.
- La temperatura del color, la apariencia de calidez o frialdad de la luz.
- El tamaño y forma de la fuente luminosa y de la luminaria.

4.1.2.1 Confort visual. El confort visual se define como una condición que manifiesta que hay ausencia de perturbaciones por parte del entorno visual¹⁵. Lograr el confort visual depende de algunas características propias de la tarea visual a efectuar como el grado de percepción visual, la precisión de la tarea, la rapidez con que se realiza y la duración de la percepción. Para el caso concreto de las aulas de clase el RETILAP menciona que debido a la similitud de las tareas visuales que se desarrollan con las tareas visuales de las oficinas, los requisitos generales son homologables, estos son:

- Luminarias de baja luminancia.
- Ausencia de reflexiones en la superficie de las mesas de trabajo y paneles brillantes.
- Aspecto cromático y rendimiento de color agradables.

El segundo ítem mencionado se relaciona directamente con otro concepto muy familiar en el diseño de sistema de iluminación, conocido como deslumbramiento. El deslumbramiento se define como una “sensación producida por la luminancia dentro del campo visual que es suficientemente mayor que la luminancia a la cual los ojos están adaptados y que es causa de molestias e incomodidad o pérdida de la capacidad visual y de la visibilidad. Existe deslumbramiento cegador, directo, indirecto, incómodo e incapacitivo. La magnitud de la sensación del deslumbramiento depende de factores como el tamaño, la posición y la luminancia de la fuente, el número de fuentes y la luminancia a la que los ojos están adaptados”¹⁶.

Para el caso del deslumbramiento directo la CIE (Comisión Internacional de Iluminación) ha estipulado el “UGR (Índice de Deslumbramiento Unificado) para establecer el deslumbramiento directo en cada aplicación específica en función de la disposición de las luminarias, de las características del ambiente (dimensiones, reflexiones) y del punto de observación de los operadores”¹⁷

¹⁵ PATTINI, Andrea. Op. Cit. p. 25.

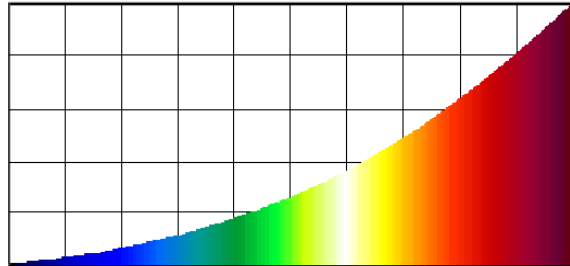
¹⁶ COLOMBIA, MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Op. Cit., p.17.

¹⁷ ESPAÑA, DIRECCIÓN GENERAL DE INDUSTRIA ENERGÍA Y MINAS. Guía Técnica de Iluminación Eficiente [PDF]. Madrid: España, 2006. Disponible desde internet < <http://www.fenercom.com/pdf/publicaciones/guia-tecnica-de-iluminacion-eficiente-sector-residencial-y-terciario-fenercom.pdf>>

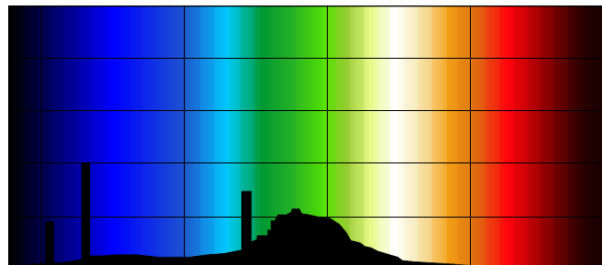
En cuanto al aspecto cromático y rendimiento de color (Ver cuadro), existen dos elementos que permiten al diseñador obtener una idea del comportamiento de la luminaria, son el Índice de Reproducción Cromática (IRC) (Ver cuadro 3) y el Índice de Rendimiento de Color (Ra).

Cuadro 3. Espectro de emisión de color de diferentes tipos de lámparas

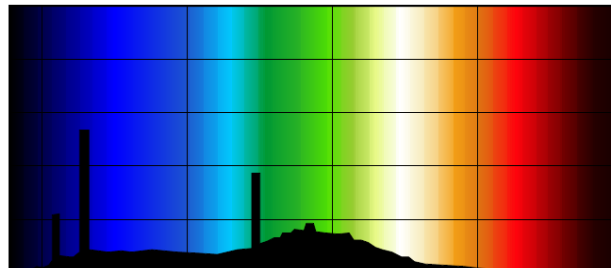
Lámpara
incandescente



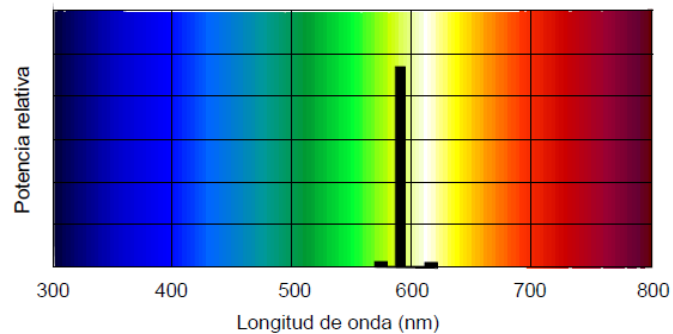
Lámpara
fluorescente
con índice de
rendimiento de
color de 55.



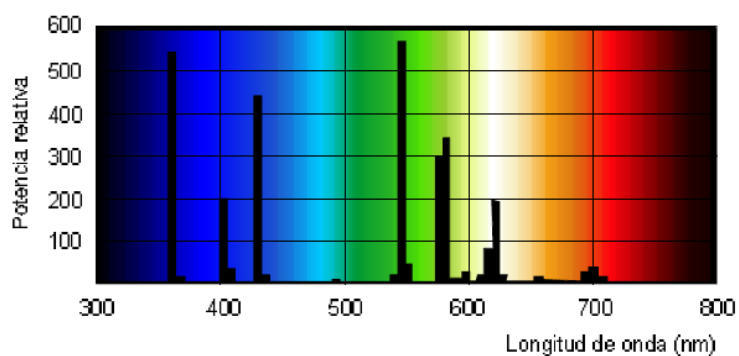
Lámpara
fluorescente
con índice de
rendimiento de
color de 72.



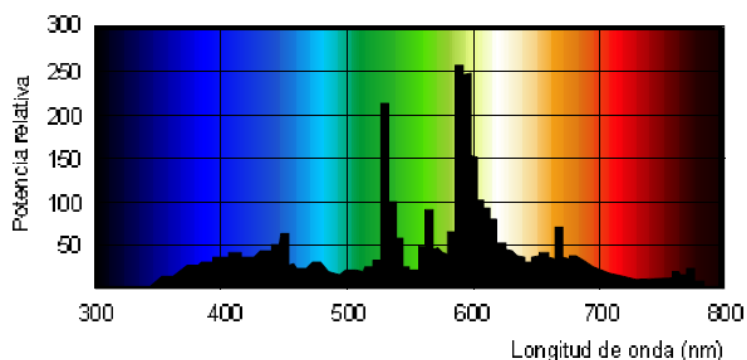
Lámpara de
sodio de baja
presión.



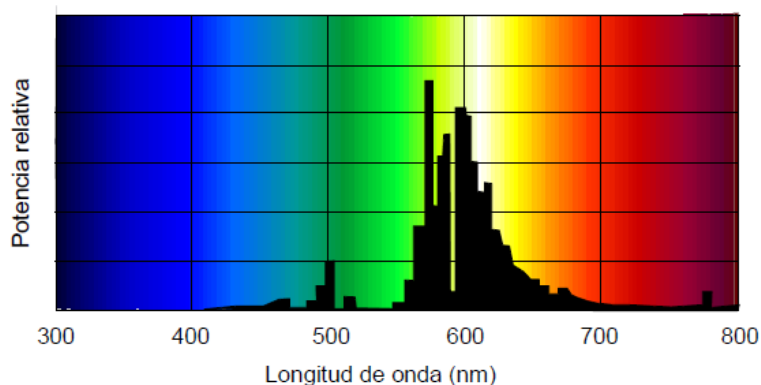
Lámpara de vapor de mercurio de alta presión de color mejorado.



Lámpara de vapor de mercurio halogenado de tipo multilínea.



Lámpara de vapor de sodio de alta presión.



Fuente UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL. Manual de Iluminación Eficiente [Documento PDF]. [Buenos Aires, Argentina]. Editorial EDUTECNE, 2006. Capítulo IV. Fuentes de iluminación. Disponible desde internet < <http://www.edutecne.utn.edu.ar/eli-iluminacion/cap04.pdf>>.

4.1.2.2 Niveles de iluminancia. El RETILAP establece en la sección 410.1 los niveles mínimos, medios y máximos de iluminancia para las diferentes zonas de los centros educativos (Ver tabla 1).

Tabla 1. Índice UGR máximo y Niveles de iluminancia exigibles para las diferentes áreas y actividades de centros educativos.

| | | | | |
|---------------------------------------|----|-----|-----|------|
| Colegios y centros educativos. | | | | |
| <i>Salones de clase</i> | | | | |
| Iluminación general | 19 | 300 | 500 | 750 |
| Tableros para emplear con tizas | 19 | 300 | 500 | 750 |
| Elaboración de planos | 16 | 500 | 750 | 1000 |
| <i>Salas de conferencias</i> | | | | |
| Iluminación general | 22 | 300 | 500 | 750 |
| Tableros | 19 | 500 | 750 | 1000 |
| Bancos de demostración | 19 | 500 | 750 | 1000 |
| Laboratorios | 19 | 300 | 500 | 750 |
| Salas de arte | 19 | 300 | 500 | 750 |
| Talleres | 19 | 300 | 500 | 750 |
| Salas de asamblea | 22 | 150 | 200 | 300 |

Fuente COLOMBIA. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Decreto 180540 (30, Marzo, 2010). Por la cual se modifica el Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público- RETILAP. Se establecen los requisitos de eficacia mínima y vida útil de las fuentes lumínicas y se dictan otras disposiciones. Bogotá D.C.: El ministerio, 2010. Anexo general 80 p.

4.1.3 Valor de eficiencia energética de la instalación. La eficiencia energética de una instalación de iluminación de una zona, se evaluará mediante el indicador denominado Valor de Eficiencia Energética de la instalación VEEI expresado en (W/m²) por cada 100 luxes, mediante la siguiente expresión:

Ecuación 1. Valor de Eficiencia Energética de la Instalación

$$VEEI = \frac{P * 100}{S * E_{prom}}$$

Donde:

P Potencia total instalada en las bombillas más los equipos auxiliares, incluyendo sus pérdidas [W]

S Superficie iluminada [m²]

E_{prom} Iluminancia promedio horizontal mantenida [lux]¹⁸

Los valores de eficiencia energética son evaluados de acuerdo a la sección 440.1 de Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público (Ver cuadro 5)

¹⁸ COLOMBIA, MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Op. Cit., p.99

Cuadro 4. Valores límites de la eficiencia energética de la instalación

| Grupo | Actividades de la zona | Límites de VEEI |
|---|---|-----------------|
| a Zonas de baja importancia lumínica | Administrativa en general | 3,5 |
| | Andenes de estaciones de transporte | 3,5 |
| | Salas de diagnóstico (4) | 3,5 |
| | Pabellones de exposición o ferias | 3,5 |
| | Aulas y laboratorios (2) | 4,0 |
| | Habitaciones de hospital (3) | 4,5 |
| | Otros recintos interiores asimilables a grupo 1 no descritos en la lista anterior | 4,5 |
| | Zonas comunes (1) | 4,5 |
| | Almacenes, archivos, salas técnicas y cocinas | 5 |
| | Parqueaderos | 5 |
| | Zonas deportivas (5) | 5 |
| b Zonas De alta importancia lumínica | Administrativa en general | 6 |
| | Estaciones de transporte (6) | 6 |
| | Supermercados, hipermercados y grandes almacenes | 6 |
| | Bibliotecas, museos y galerías de arte | 6 |
| | Zonas comunes en edificios residenciales | 7,5 |
| | Centros comerciales (excluidas tiendas) (9) | 8 |
| | Hostelería y restauración (8) | 10 |
| | Otros recintos interiores asimilables a grupo 2 no descritos en la lista anterior | 10 |
| | Centros de culto religioso en general | 10 |
| | Salones de reuniones, auditorios y salas de usos múltiples y convenciones, salas de ocio o espectáculo, y salas de conferencias (7) | 10 |
| | Tiendas y pequeño comercio | 10 |
| | Zonas comunes (1) | 10 |
| | Habitaciones de hoteles, etc. | 12 |

Fuente COLOMBIA. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Decreto 180540 (30, Marzo, 2010). Por la cual se modifica el Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público- RETILAP. Se establecen los requisitos de eficacia mínima y vida útil de las fuentes lumínicas y se dictan otras disposiciones. Bogotá D.C.: El ministerio, 2010. Anexo general 100 p.

NOTAS:

(1) Espacios utilizados por cualquier persona o usuario, como recepción, vestíbulos, pasillos, escaleras, espacios de tránsito de personas, aseos públicos, etc.

(2) Incluye la instalación de iluminación de aulas y las pizarras de las aulas de enseñanza, aulas con monitores de computador, música, laboratorios de idiomas, aulas de dibujo técnico, aulas de prácticas y laboratorios, manualidades, talleres de enseñanza y aulas de arte, aulas de preparación y talleres, aulas comunes de estudio y aulas de reunión, aulas clases nocturnas y educación de adultos, salas de lectura, guarderías, salas de juegos de guarderías y sala de manualidades.

(3) Incluye la instalación de iluminación interior de la habitación y baño, formada por iluminación general, iluminación de lectura e iluminación para exámenes simples.

(4) Incluye la instalación de iluminación general de salas como salas de examen general, salas de emergencia, salas de escáner y radiología, salas de examen ocular y auditivo y salas de tratamiento. Sin embargo quedan excluidos locales como las salas de operación, quirófanos, unidades de cuidados intensivos, dentista, salas de descontaminación, salas de autopsias y mortuorios y otras salas que por su actividad puedan considerarse como salas especiales.

(5) Incluye las instalaciones de iluminación del terreno de juego y graderías de espacios deportivos, tanto para actividades de entrenamiento y competición, pero no se incluye las instalaciones de iluminación

necesarias para las transmisiones de televisión. Las graderías son asimilables a zonas comunes del grupo 1

(6) Espacios destinados al tránsito de viajeros como recepción de terminales, salas de llegadas y salidas de pasajeros, salas de recogida de equipajes, áreas de conexión, de ascensores, áreas de ventanillas de taquillas, facturación e información, áreas de espera, salas de consigna, etc.

(7) Incluye la instalación de iluminación general y direccionada. En el caso de cines, teatros, salas de conciertos, etc. se excluye la iluminación con fines de espectáculo, incluyendo la representación y el escenario.

(8) Incluye los espacios destinados a las actividades propias del servicio al público como mostrador, recepción, restaurante, bar, comedor, auto-servicio o buffet, pasillos, escaleras, vestuarios, servicios, aseos, etc.

(9) Incluye la instalación de iluminación general y localizada de mostrador, recepción, pasillos, escaleras, vestuarios y aseos de los centros comerciales.

Los valores de VEEI se establecen en dos grupos de zonas en función de la importancia que tiene la iluminación, estas son:

- a. **Zonas de baja importancia lumínica.** Corresponde a espacios donde el criterio de diseño, la imagen o el estado anímico que se quiere transmitir al usuario con la iluminación, queda relegado a un segundo plano frente a otros criterios como el nivel de iluminancia, el confort visual, la seguridad y la eficiencia energética.
- b. **Zonas de alta importancia lumínica** o espacios donde el criterio de diseño, la imagen o el estado anímico que se quiere transmitir al usuario con la iluminación, son relevantes frente a los criterios de eficiencia energética¹⁹.

4.1.4 Algoritmos de interpolación empleados por el programa SURFER.

Un algoritmo se define como “Conjunto ordenado y finito de operaciones que permite hallar la solución de un problema”²⁰. Por otra parte la interpolación se considera como la “La obtención de nuevos puntos partiendo del conocimiento de un conjunto discreto de puntos”²¹ Este es uno de los elementos más importantes en el uso de la herramienta que se ha elegido para graficar los datos obtenidos. A continuación se explicará de manera breve los principales algoritmos de interpolación empleados por el programa Surfer.

¹⁹ COLOMBIA, MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Op. Cit., p.100.

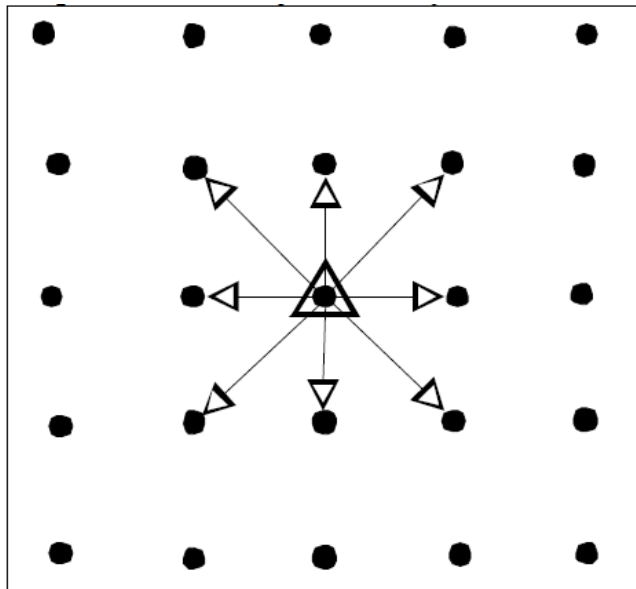
²⁰ Disponible desde internet <<http://es.wikipedia.org/wiki/Algoritmo>>

²¹ Disponible desde internet desde < <http://es.wikipedia.org/wiki/Interpolaci%C3%B3n>>

4.1.4.1 Distancia inversa ponderada. Este interpolador asume que cada punto en el set de datos tiene una influencia local que disminuye con la distancia y que por tanto los valores de los puntos cercanos al nodo que se procesa tienen mayor importancia o peso en la estimación del valor que será asignado al mismo que los puntos más lejanos.

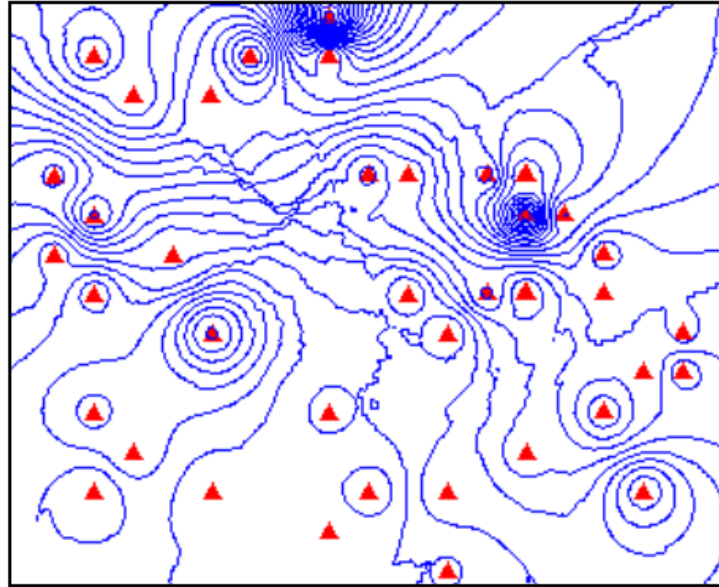
Normalmente, la búsqueda se hace considerando un número de puntos o un radio (círculo alrededor de la celda de interés) (Ver figura 11). El interpolador se comporta como exacto cuando no se utiliza ningún factor de suavizado. Uno de los defectos de este método de interpolación es que genera una superficie con una apariencia de “ojos de buey” alrededor de los puntos de muestreo.

Figura 11. Representación del concepto “Distancia de búsqueda”



Fuente FALLA, Jorge. Modelo de elevación digital para las hojas cartográficas tilarán y juntas escala 1:50.000 del instituto geográfico nacional, Costa Rica [PDF]. San José (Costa Rica). Marzo, 2003. Disponible desde internet: <http://www.mapealo.com/Costaricageodigital/Documentos/alfabetizacion/MED_TILARAN_JUNTAS.pdf>

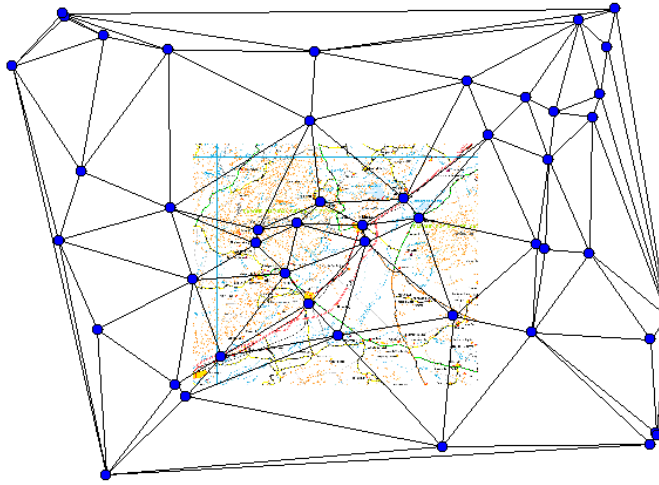
Figura 12. Interpolador Distancia Inversa Ponderada



Fuente FALLA, Jorge. Modelo de elevación digital para las hojas cartográficas tilarán y juntas escala 1:50.000 del instituto geográfico nacional, Costa Rica [PDF]. San José (Costa Rica). Marzo, 2003. Disponible desde internet: <http://www.mapealo.com/Costaricageodigital/Documentos/alfabetizacion/MED_TILARAN_JUNTAS.pdf>

4.1.4.2 Interpolación a partir de triángulos irregulares (Triangulation With Linear Interpolation). Las Redes Irregulares de Triángulos (TIN son las iniciales en inglés) se generan a partir de valores puntuales tratando de conseguir triángulos que maximicen la relación área/perímetro, el conjunto de todos los triángulos forma un objeto geométrico denominado conjunto convexo. Suelen utilizarse como método para representar modelos de elevaciones (y producen resultados visualmente muy buenos) sin embargo a la hora de integrarlos con el resto de la información raster es necesario interpolar una capa raster a partir de los triángulos (Ver figura 13).

Figura 13. Representación de un "Convexo"



Fuente MOREANO, José. Sistema de información para la interpolación espacial y temporal de datos sobre el tiempo atmosférico y el clima del Ecuador [PDF]. Quito (Ecuador). Julio, 2008. Disponible desde internet: <[http://eelalnx01.epn.edu.ec/bitstream/15000/719/1/CD-1664\(2008-09-15-10-33-24\).pdf](http://eelalnx01.epn.edu.ec/bitstream/15000/719/1/CD-1664(2008-09-15-10-33-24).pdf)>

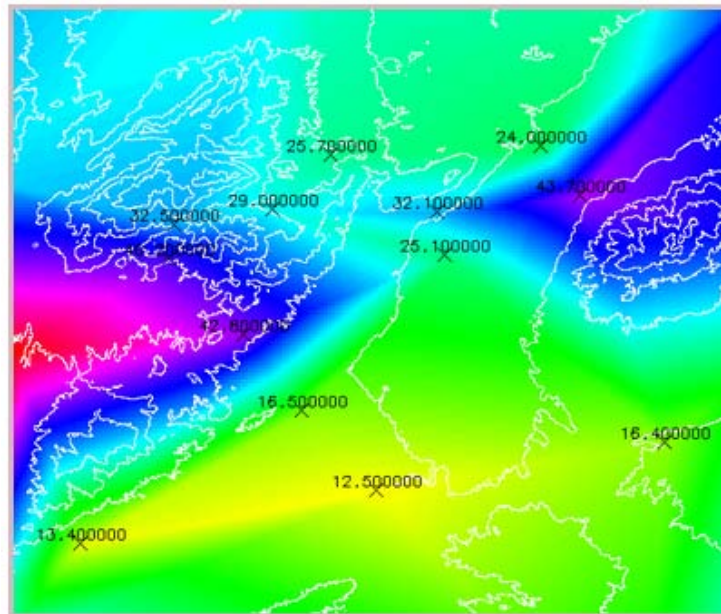
Esta interpolación se basa en que cada uno de los tres vértices de los triángulos tienen unos valores X, Y y Z a partir de los cuales puede obtenerse un modelo de regresión

Ecuación 2. Modelo de regresión TIN

$$Z = AX + BY + C$$

Que permite interpolar la variable Z en cualquier punto del rectángulo. En definitiva puede asimilarse a un método de media ponderada por inverso de la distancia ya que el resultado siempre va estar acotado por los valores máximo y mínimo de Z en los vértices del triángulo y será más parecido al del vértice más cercano.

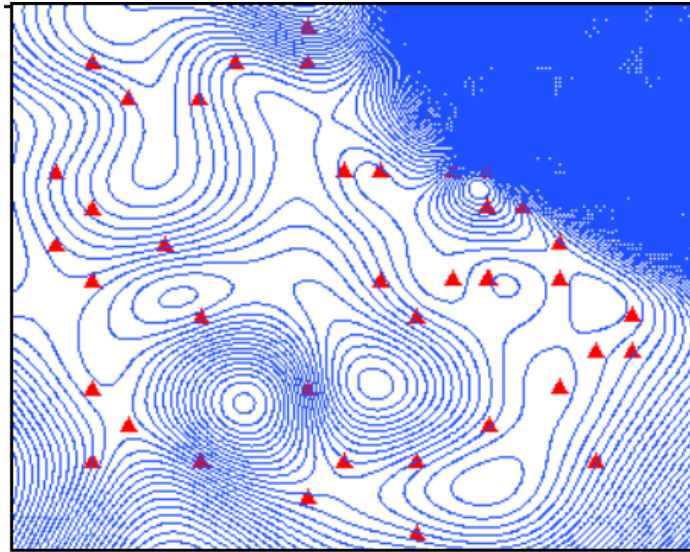
Figura 14. Interpolación mediante Red Irregular de Triángulos



Fuente MOREANO, José. Sistema de información para la interpolación espacial y temporal de datos sobre el tiempo atmosférico y el clima del Ecuador [PDF]. Quito (Ecuador). Julio, 2008. Disponible desde internet: <[http://eelalnx01.epn.edu.ec/bitstream/15000/719/1/CD-1664\(2008-09-15-10-33-24\).pdf](http://eelalnx01.epn.edu.ec/bitstream/15000/719/1/CD-1664(2008-09-15-10-33-24).pdf)>

4.1.4.3 Curvatura mínima (Minimum Curvature). Este interpolador tiene su origen en los antiguos moldes curvos que utilizaban los dibujantes para ajustar una curva a una serie de puntos y es realmente un conjunto de polinomios cúbicos que describen tanto la tendencia como la magnitud de una línea. La forma de la curva (Ver figura 15) es definida localmente a partir de un subconjunto de los datos. Algunos programas utilizan "B-splines", los cuales son a su vez la suma de otros "splines" utilizados para suavizar líneas. El interpolador ajusta una línea de curvatura mínima a partir de los puntos de muestreo (X,Y,Z) y por lo tanto se comporta como un interpolador exacto (la superficie creada mantendrá los valores de Z de los datos originales). El interpolador es muy utilizado en las ciencias de la Tierra (Ej. geología, edafología, geomorfología, climatología).

Figura 15. Interpolador de curvatura mínima



Fuente MOREANO, José. Sistema de información para la interpolación espacial y temporal de datos sobre el tiempo atmosférico y el clima del Ecuador [PDF]. Quito (Ecuador). Julio, 2008. Disponible desde internet: <[http://eelalnx01.epn.edu.ec/bitstream/15000/719/1/CD-1664\(2008-09-15-10-33-24\).pdf](http://eelalnx01.epn.edu.ec/bitstream/15000/719/1/CD-1664(2008-09-15-10-33-24).pdf)>

4.1.4.4 Distancia mínima (The Nearest Neighbor). Es una forma práctica y de fácil aplicación para predecir o clasificar un nuevo dato, basado en observaciones conocidas o pasadas. Esta técnica se basa, simplemente, en “recordar” todos los ejemplos que se vieron en anteriormente y así cuando un nuevo dato se clasifica según el comportamiento del dato más cercano. Su traducción al español es “El vecino más cercano”.

4.1.4.5 Vecino natural (Natural Neighbor). “Vecino natural” halla el subconjunto de muestras de entrada más cercano a un punto de consulta y aplica ponderaciones sobre éstas basándose en áreas proporcionales para interpolar un valor. También se conoce como interpolación de Sibson o de “robo de área”. Sus propiedades básicas son que es local, utiliza sólo un subconjunto de muestras que circundan a un punto de consulta y asegura que las alturas interpoladas estarán dentro del rango de las muestras utilizadas. No infiere tendencias ni produce picos, depresiones, crestas o valles que no estén ya representados por las muestras de entrada. La superficie pasa por las muestras de entrada y es suave en todas partes, excepto en las ubicaciones de las muestras de entrada.

4.1.4.6 Función de Base Radial (Radial Basis Function). Las funciones de base radial se caracterizan por una salida que se incrementa o decrece monótonamente con las distancia de la entrada respecto a un punto central. En estas se utiliza un grupo diverso de métodos de interpolación de datos. En términos de la capacidad para adaptarse a sus datos y para producir una superficie lisa, el método Multiquadric es considerado por muchos como el mejor y sus resultados son muy parecidos a los de Kriging, método elegido para este estudio, pero en los resultados gráficos omite ciertos valores de medición debido a que usa diferentes interpolaciones. Todos los métodos de Función de Base Radial interpoladores son exactos, por lo que tratan de cumplir con sus datos. Se puede introducir un factor de suavización para todos los métodos en un intento de producir una superficie más lisa.

4.1.4.7 Media Móvil (Moving Average). Este método se emplea ampliamente en el análisis de variabilidad de valores en el mercado, en especial en aquellos con “Volatilidad” de precios ocasionando gráficas con “Dientes de sierra” en los cuales se oculta la verdadera tendencia del valor y este puede ser solucionado mediante la determinación de la media móvil. Las medias móviles son el indicador más empleado en el análisis técnico. Se trata de un promedio aritmético que "suaviza" la curva de precios y se convierte en una línea o curva de la tendencia, permitiendo analizar su inicio y su final. No proporciona cambios de tendencia pero si los puede confirmar.

4.1.4.8 Kriging. Es uno de los métodos más flexibles y es útil para procesar la mayoría de los tipos de datos. En la mayoría de los casos se emplea debido a que genera buenos mapas con la mayoría de los datos. Este método es conocido como el “Mejor Estimador Lineal Insesgado” (BLUE por sus siglas en inglés). Esta es una técnica de estimación espacial desarrollada por G.Matheron en los sesentas a partir de los trabajos de D.G. Krige quién fue pionero en el uso de la correlación espacial para propósitos de predicción, en honor a él Matheron le asigna este nombre. El método de interpolación Kriging asume que la distancia y/o la dirección entre puntos de muestreo es una expresión de la correlación espacial entre los puntos y que por tanto dicha información puede utilizarse para explicar la variabilidad encontrada en la superficie muestreada. El algoritmo del programa utilizado ajusta una función matemática a un determinado número de puntos o a aquellos que se encuentren en un radio de búsqueda²².

²² FALLA, Jorge. Modelo de elevación digital para las hojas cartográficas tilarán Y juntas escala 1:50.000 del instituto geográfico nacional, Costa Rica [PDF]. San José (Costa Rica). Marzo, 2003. Disponible desde internet: <http://www.mapealo.com/Costaricageodigital/Documentos/alfabetizacion/MED_TILARAN_JUNTAS.pdf>. p.13

4.2 MARCO CONCEPTUAL

Para dar inicio a la investigación se realizó una revisión del RETILAP, esto con el fin de establecer los parámetros a seguir en el diagnóstico del sistema de iluminación de la Universidad de la Costa. Como primer paso fue necesario obtener los planos arquitectónicos de las instalaciones físicas, así como realizar el préstamo del equipo de medición de iluminancia. Como no fue posible obtener un plano de la planta arquitectónica con las dimensiones de los salones detallados, se debieron realizar estos para poder iniciar el estudio.

Se diseñaron los formatos necesarios para la recopilación de información, es necesario aclarar que el RETILAP estipula en su anexo general un formato para el registro de medidas de iluminancia el cual no fue empleado en esta labor, lo anterior debido a que el formato solo permite recoger información por cada una de las aulas, por lo que habrían sido empleados más de 70 formatos para que toda la información fuese recolectada; esto ocasionaría un uso inadecuado y poco eficiente del papel. Por las anteriores razones se optó por realizar un formato mediante el cual la información se recolectara por bloques, empleando así menos cantidad de papel.

El reglamento propone seis procedimientos diferentes para realizar las mediciones fotométricas en iluminación interior, los cuales están en función de la forma del área a evaluar y la distribución de las luminarias en la misma. Para este caso se empleó el método de *“Medición de iluminancia promedio, en áreas regulares con luminarias espaciadas simétricamente en dos o más filas”* debido a que correspondía con la topología del sistema de iluminación en general, con excepción de los salones 2412 y 2407. Toda la información recolectada se digitó en Microsoft Excel, con la finalidad de poder realizar las operaciones estipuladas en el método de manera más ágil. Los resultados obtenidos se evaluaron de acuerdo a los niveles de iluminancia establecidos para aulas de clases del Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público (RETILAP).

De manera paralela a la toma de datos de iluminancia en las diferentes aulas, se realizó una inspección de las condiciones del sistema de iluminación y un censo de carga del mismo. Lo anterior con la finalidad de identificar anomalías o no conformidades y además, realizar el cálculo del Valor de Eficiencia Energética de la Instalación (VEEI).

Los resultados obtenidos se graficaron con la ayuda del programa Surfer, empleando el algoritmo de interpolación de Kriging, se eligió este debido a la facilidad de aplicación que tiene gran flexibilidad y facilidad de uso en el procesamiento de todo tipo de datos.

Posteriormente, todos resultados finales se analizaron de manera individual y grupal, esto como primer resultado permitió identificar aquellos salones que no cumplen con los niveles mínimos de iluminancia, para continuar se estableció la presencia de condiciones inseguras en algunos salones, como mal estado de las estructuras de soporte de la luminaria, las cuales son de alta prioridad para corregir. Se identificaron falencias de diseño en algunos recintos, que involucran poco uso de la luz natural, uso de bombillas de mediana o baja eficiencia, falta de una campaña de Uso Racional de la Energía hacia los estudiantes y políticas que aseguren el ahorro energético.

4.3 MARCO CONTEXTUAL

4.3.1 Descripción y ubicación. La Universidad de la Costa es un establecimiento privado de educación superior, cuya personería jurídica fue otorgada el 23 de abril de 1971, mediante la Resolución No. 352 de la Gobernación del Atlántico, está ubicada en la Calle 58 No. 55-66.

Figura 16. Entrada principal de la Universidad de la Costa (CUC)



Fuente UNIVERSIDAD DE LA COSTA. Presentación de la universidad: Historia [en línea], 2011. [Citado 20 de Agosto de 2012]. Disponible desde internet:
<http://www.cuc.edu.co/index.php?option=com_flexicontent&view=items&cid=38&id=63&Itemid=89>

4.3.2 Misión. La Universidad de la Costa, CUC, tiene como misión formar un ciudadano integral bajo el principio de la libertad de pensamiento y pluralismo ideológico, con un alto sentido de responsabilidad en la búsqueda permanente de la excelencia académica e investigativa, utilizando para lograrlo el desarrollo de la ciencia, la técnica, la tecnología y la cultura.

4.3.3 Visión. La Universidad de la Costa, tiene como visión ser reconocida por la sociedad como una institución de educación superior de alta calidad y accesible a todos aquellos que cumplan los requerimientos académicos.

4.3.4 Breve reseña histórica. La UNIVERSIDAD DE LA COSTA –CUC, se creó el 16 de Noviembre de 1970, como una entidad sin ánimo de lucro, dedicada a la formación de profesionales en el área de la ciencia, la tecnología, las humanidades, el arte y la filosofía.

El 3 de enero de 1971, el nuevo centro inició labores en la carrera 42F No. 75B-169 de esta ciudad, ofreciendo los programas de Arquitectura, Administración, Derecho e Ingeniería Civil, con una matrícula de 154 estudiantes. El traslado a su sede actual, Calle 58 No. 55-66, se verificó en enero de 1974. Su personería jurídica fue otorgada el 23 de abril de 1971, mediante la Resolución No. 352 de la Gobernación del Atlántico.

Posteriormente, se iniciaron estudios en la Facultad de Ciencias de la Educación, en las especialidades de Psicopedagogía, Matemáticas, Lenguas Modernas y Educación Física, así como en Economía en Comercio Internacional.

En 1975 se crea el Departamento de Investigaciones Socioeconómicas (DIS) adscrito a la facultad de Economía, hecho que marcó el inicio del proceso investigativo en la CUC.

En la Década de los 90´ el ICFES autoriza el funcionamiento de los programas de ingeniería eléctrica, ingeniería electrónica, industrial, sanitaria y ambiental, análisis y programación de computadores, tecnología en informática y telecomunicaciones, luego el programa de psicología.

A mediados de 1994 se realizó un diagnóstico con el fin de determinar la eficacia y la eficiencia que tenía la gestión investigativa en la institución, a raíz de las inquietudes generadas por la aprobación de la Ley 30/92. El Consejo Directivo determina la implementación y puesta en marcha del Centro de Investigaciones y Desarrollo -CID- que se pone en marcha en 1996, ente interdisciplinario, al cual se adscriben los investigadores pertenecientes a los anteriores centros de las facultades.

Los programas de Postgrado se les dan inicio el 16 de marzo de 1987 con la Especialización en Finanzas y Sistemas, autorizado mediante el Acuerdo 203 del 30 de octubre de 1986, emanado de la Junta Directiva del ICFES.

Luego, se decide a mediados del año 2000 crear la División de Consultoría y de prestación de servicios adscrito al -CID-, teniendo en cuenta su entorno y las fortalezas que la institución posee o genere durante los próximos años, con el propósito de que la institución mantenga su función de cambio social, económico y ambiental de la Región Caribe.

4.4 MARCO LEGAL

4.4.1 Resolución número 180540 del 30 de marzo de 2012. Por la cual se modifica el Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público-RETILAP. Se establecen los requisitos de eficacia mínima y vida útil de las fuentes lumínicas y se dictan otras disposiciones.

- **Anexo general, sección 230.3 MEDIDOR DE ILUMINANCIA**

La iluminancia se mide en Luxes con un luxómetro, el cual tiene tres características importantes: sensibilidad, corrección de color y corrección coseno.

La **sensibilidad** se refiere al rango de iluminancia que cubre, dependiendo si será usado para medir luz natural, iluminación interior o exterior nocturna. Para una adecuada medición de iluminancia se requiere que el luxómetro tenga certificado de calibración vigente y las siguientes especificaciones técnicas: respuesta espectral \leq al 4% de la curva CIE Standard, error de Coseno al 3% a 30°, pantalla de 3,5 dígitos, precisión de \pm 5% de lectura \pm un dígito y rango de lectura entre 0.1 y 19.990 luxes.

La **corrección de color** se refiere a que el instrumento tiene un filtro de corrección, para que el instrumento tenga una sensibilidad espectral igual a la del Observador Standard Fotópico de la CIE.

La **corrección coseno** significa que la respuesta del medidor de iluminancia a la luz que incide sobre él desde direcciones diferentes a la normal sigue la ley de coseno.

- **Anexo general, sección 440.1 VALOR DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LA INSTALACIÓN – VEEI. (Ver capítulo 6)**
- **Anexo general, sección 490.1 MEDICIÓN DE ILUMINANCIA GENERAL DE UN SALÓN. (Ver capítulo 6)**

4.4.2 Decreto número 3450 del 12 de septiembre del 2008. Por el cual se dictan medidas tendientes al uso racional y eficiente de la energía eléctrica.

- **Artículo 2º. Prohibición.** A partir del 1 de enero del año 2011 no se permitirá en el territorio de la República de Colombia la importación, distribución, comercialización y utilización de fuentes de iluminación de baja eficacia lumínica.

4.4.3 Ley 143 de 1994. Por la cual se establece el régimen para la generación, interconexión, transmisión distribución y comercialización de electricidad en el territorio nacional, se conceden unas autorizaciones y dictan otras disposiciones en materia energética.

- **Artículo 67, literal e):** Créase la División de Ahorro, conservación y uso eficiente de la energía, como dependencia del Instituto de Ciencias Nucleares y Energías Alternativas INEA que tendrá las siguientes funciones:

e) Adoptar normas técnicas para la fabricación de equipos consumidores de energía y para la construcción de inmuebles que propendan por el ahorro, conservación y uso eficiente de la energía.

4.4.4 Ley 30 de 1993. Por la cual se organiza el servicio público de la educación superior

- **Artículo 6º, literal i:** Son objetivos de la educación superior y de sus instituciones:
 - i) Promover la preservación de un ambiente sano y fomentar la educación y cultura ecológica.

5. DISEÑO METODOLÓGICO

5.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

El estudio se llevó a cabo bajo los criterios y particularidades de la investigación “Descriptiva” debido a que se pretende caracterizar una situación concreta indicando sus rasgos más peculiares o diferenciadores. Por medio de este estudio se pueden conocer las condiciones y características del sistema de iluminación de las aulas de la Universidad de la Costa, a través de una descripción exacta del mismo. Este hace amplio uso de la tabulación de datos, mas no se limita a ello, los datos recogidos han sido resumidos de manera cuidadosa y analizados a fin de poder extraer generalizaciones significativas que contribuyan a establecer las condiciones del sistema de iluminación y las posibles acciones de mejora.

Siguiendo la metodología de una investigación descriptiva, los datos se han expresado en términos cuantitativos, entre ellos el resultado de la iluminancia promedio por aula y el cálculo del Valor de Eficiencia Energética de la Instalación (VEEI) y en términos cualitativo, como por ejemplo el estado de la luminaria.

5.2 POBLACIÓN UNIVERSO

Para este estudio la población universo corresponde a la totalidad de las aulas de la Universidad de la Costa que prestan servicios generales.

Tabla 2. Total de la población estudiada

| POBLACIÓN | TAMAÑO |
|--|-------------|
| Salones de clases de la Universidad de la Costa, sin una actividad definida. | 93 Unidades |

5.3 MUESTRA

Para este estudio se tomaron 91 salones de los 93 que posee la Universidad de la Costa, es decir un 97.85%, esto debido a que dos de ellos no podían ser

evaluados de acuerdo a la metodología elegida del RETILAP. Sin embargo, ambos salones fueron inspeccionados visualmente y están incluidos en el censo de carga.

5.4 ETAPAS DEL PROYECTO

A continuación se relaciona la metodología utilizada para la elaboración de este proyecto de investigación, teniendo en cuenta los diferentes métodos y técnicas propias de cada una de las etapas que intervinieron en el estudio, incluyendo los procedimientos, recolección, procesamiento y análisis de la información. La investigación se llevo a cabo en seis etapas descritas a continuación:

5.4.1 Etapa I: Obtención de planos y permisos de uso del luxómetro. Para dar inicio al proyecto se consultó acerca de la existencia de planos arquitectónicos de la planta física de la Universidad de la Costa, no se encontraron planos donde estuviesen definidos las dimensiones de las aulas de clases, solamente se tuvo conocimiento de un plano de vista aérea general de la misma. De manera paralela a lo anterior, se diligenciaron los permisos necesarios para hacer uso del luxómetro perteneciente al programa de ingeniería eléctrica de la institución.

5.4.2 Etapa II: Consulta bibliográfica, elaboración de planos y selección del método a emplear para medir los niveles de iluminancia. En esta etapa se inició con la realización de una consulta acerca de la normativa vigente para sistemas de iluminación de interiores, dando como resultado la consulta al RETILAP (Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público), lo anterior permitió establecer el método mediante el cual se realizaría la evaluación de los niveles de iluminancia de las aulas (*Medición de iluminancia promedio, en áreas regulares con luminarias espaciadas simétricamente en dos o más filas*). Para continuar se elaboraron todos los planos correspondientes a los salones de clases y se diseñó el formato para recolección de datos de iluminancia de acuerdo a la metodología a implementar, así mismo se pudieron establecer los puntos a medir en cada una de las aulas.

5.4.3 Etapa III: Recolección y evaluación de datos. Se procedió a realizar la toma de datos con la ayuda del luxómetro de referencia LX 1108 marca Lutron

en cada una de las aulas de clases. Todos los datos se digitaron y organizaron en una hoja de cálculo de Microsoft Excel, previamente programada con la fórmula establecida según el método seleccionado del RETILAP para cálculo de iluminancia promedio. Los resultados obtenidos se evaluaron de acuerdo a la sección 410.1 (Niveles de iluminancia) para establecer si cumplían o no con la reglamentación vigente. En el recorrido para toma de datos de valores de iluminancia, se realizó un censo de carga y una inspección al estado de las luminarias, por medio de esta se pudieron identificar luminarias de baja eficiencia en mal estado, con soportes mal instalados y en desequilibrio.

5.4.4 Etapa IV: Gráficas de resultados y selección del algoritmo de interpolación. Debido a la necesidad de graficar los resultados obtenidos, se realizó una búsqueda con el fin de hallar un programa con la capacidad de hacerlo. Se eligió el programa Surfer, tomando en cuenta que es un programa ampliamente usado en la elaboración de mapas de contorno. Se empleó el algoritmo de interpolación “Kriging” debido a que este es flexible en cuanto al procesamiento de datos y es estudio realizado cumple con las condiciones mínimas de uso del mismo.

5.4.5 Etapa V: Análisis de resultados. Los resultados obtenidos fueron evaluados y analizados con el fin de establecer un conjunto de recomendaciones para el sistema de iluminación de las aulas. Se estipularon además, acciones correctivas de alta prioridad a fin de prevenir accidentes.

5.4.6 Etapa VI: Realización del documento final. En esta etapa finaliza el proyecto con la realización del presente documento y la revisión final del mismo.

5.5 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

La principal técnica de recolección de información empleada para el desarrollo de la presente investigación fue el registro de campo. Para ello se estructuró un formato (Ver figura 17) en el cual los datos obtenidos de las medidas de iluminancia eran registrados. Aún cuando el RETILAP estipula en su sección 490.3 (Resultado de las mediciones) un formato para el registro de dichas medidas, en este caso se decidió diseñar un formato para cada uno de los bloque, con el fin de hacer más sencilla esta labor y optimizar el uso de papel. No se realizaron medidas de iluminancia por puesto de trabajo porque no era

necesario, esto debido a las características propias del aula de clases y a las actividades que en ella se realizan. Todas las medidas se efectuaron en ausencia de luz externa, natural o artificial, esto con el fin de impedir que se alteraran las medidas a tomar; para ellos fue necesario el uso de cuerpos opacos en lugares como ventanas y vitrales de las puertas. Se realizó además el censo de carga de cada uno de los salones de la institución (Ver figura 18).

Figura 17. Formato para el registro de datos de iluminancia en el bloque 8

| Nº | r-1 | r-2 | r-3 | r-4 | r-5 | r-6 | r-7 | r-8 | q-1 | q-2 | q-3 | q-4 | t-1 | t-2 | t-3 | t-4 | p-1 | p-2 |
|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 8301 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8302 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8303 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8304 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8401 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8402 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8403 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8404 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8501 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8502 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8503 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8504 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Figura 18. Formato para el registro de censo de carga en el bloque 8

| SALON | Cant. Luminarias | Tipo de luminarias | Potencia Luminaria | Potencia Balasto |
|-------|------------------|--------------------|--------------------|------------------|
| 8301 | | | | |
| 8302 | | | | |
| 8303 | | | | |
| 8304 | | | | |
| 8401 | | | | |
| 8402 | | | | |
| 8403 | | | | |
| 8404 | | | | |
| 8501 | | | | |
| 8501 | | | | |
| 8501 | | | | |
| 8501 | | | | |

5.6 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

Luego de realizar el proceso de tabulación y sistematización del instrumento diseñado para el registro de datos de iluminancia y censo carga se puede colegir lo siguiente:

Tabla 3. Cumplimiento de las aulas con la iluminancia promedio mínima

| ESTADO | CANTIDAD |
|--------------------|-----------|
| Aulas "NO CUMPLE" | 21 |
| Aulas "CONFORME" | 70 |
| Total aulas | 91 |

Tabla 4. Cumplimiento porcentual de las aulas con la iluminancia promedio mínima

| ESTADO | PORCENTAJE |
|--------------------|----------------|
| Aulas "NO CUMPLE" | 23,08% |
| Aulas "CONFORME" | 76,92% |
| Total aulas | 100,00% |

Tabla 5. Censo de carga del sistema de iluminación por cada bloque

| BLOQUE | Nº SALONES | P TOTAL (W) |
|--------------|------------|--------------|
| 2 | 4* | 946 |
| 3 | 16 | 4422 |
| 5 | 20 | 7396 |
| 7 | 16 | 3728 |
| 8 | 12 | 6432 |
| 9 | 15 | 6030 |
| E | 10 | 3082 |
| TOTAL | | 32036 |

* Los salones 2412 y 2407 se incluyeron en el censo de carga total, aun cuando se excluyeron del estudio.

6. EVALUACIÓN DE LOS NIVELES DE ILUMINANCIA DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN

El RETILAP plantea básicamente 6 métodos diferentes de evaluar los niveles de iluminancia de una determinada área, en todos ellos se establece que el área de estudio debe ser regular. En este caso, a pesar de la presencia de columnas en las aulas de clases, la superficie en general puede ser considerada como un rectángulo. Algunos de los otros requisitos hacen referencia a otras características del lugar, como por ejemplo la forma de distribución de la luminaria o la forma de instalación de las mismas. Las metodologías son²³:

- Medición de iluminancia promedio, en áreas regulares con luminarias espaciadas simétricamente en dos o más filas.
- Medición de iluminancia promedio, en áreas regulares luminaria simple con localización simétrica.
- Medición de iluminancia promedio, en áreas regulares con luminarias individuales en una sola fila.
- Medición de iluminancia promedio, en áreas regulares con luminarias de dos o más filas.
- Medición de iluminancia promedio, en regulares con fila continua de luminarias individuales.
- Medición de iluminancia promedio, en áreas regulares con cielorraso luminoso con luminarias con rejillas.

6.1 METODOLOGÍA A EMPLEAR

La metodología empleada en la evaluación de los niveles de iluminancia de las aulas de la Universidad de la Costa fue *“Medición de iluminancia promedio, en áreas regulares con luminarias espaciadas simétricamente en dos o más filas”* debido a que es posible aplicar la misma a la mayoría de los salones de clases.

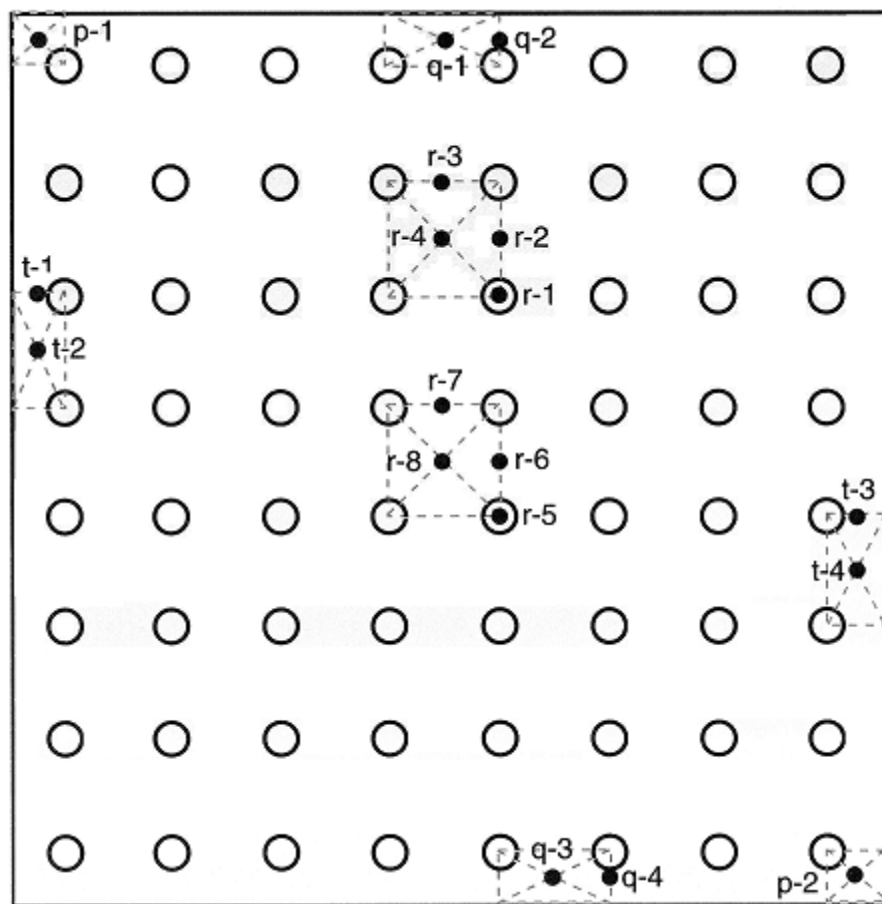
Como punto de inicio se anuló el acceso de luz solar al aula de clase con la ayuda de cuerpos opacos que se distribuyeron en todas las superficies como ventanas o los vitrales de las puertas.

²³ COLOMBIA, MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Op. Cit., p.108-111.

6.1.1 Procedimiento de toma de medidas.

Todas las medidas se tomaron en los puntos marcados (p-1, p-2, t-1, t-2 etc.) en la figura 19, a la altura de 0.68 m, la cual corresponde a la distancia comprendida entre el suelo y el brazo del pupitre, que para este caso específico se considera como el plano de trabajo. En este caso el valor del lado de cada una de las cuadrículas del área de estudio total, corresponde a 0.6 m. A continuación se describen los pasos realizados para la toma de medidas:

Figura 19. Puntos de medición de iluminancia en la cuadrícula de un local con luminarias espaciadas simétricamente en dos o más filas



Fuente COLOMBIA. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Decreto 180540 (30, Marzo, 2010). Por la cual se modifica el Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público- RETILAP. Se establecen los requisitos de eficacia mínima y vida útil de las fuentes lumínicas y se dictan otras disposiciones. Bogotá D.C.: El ministerio, 2010. Anexo general. 108 p.

1. Se tomaron lecturas en los puntos r-1, r-2, r-3 y r-4 para una cuadrícula típica interior. Se repitieron a los puntos r-5, r-6, r-7 y r-8 para una cuadrícula típica central, se promediaron las 8 lecturas. Este es el valor R de la ecuación de la iluminancia promedio.
2. Se tomaron lecturas en los puntos q-1, q-2, q-3, y q-4, en dos cuadrículas típicas de cada lado del salón. El promedio de estas cuatro lecturas es el valor Q de la ecuación de la iluminancia promedio.
3. Se tomaron lecturas en los puntos t-1, t-2, t-3, y t-4 en dos cuadrículas típicas de cada final del salón, se promediaron las cuatro lecturas. Este es el valor T de la ecuación de la iluminancia promedio.
4. Se tomaron lecturas en los puntos p-1, p-2, en dos cuadrículas típicas de las esquinas, se promediaron las dos lecturas. Este es el valor P de la ecuación de la iluminancia promedio.
5. Se determinó la iluminancia promedio en el área utilizando la ecuación de E_{prom} . (Ver ecuación 2).

Ecuación 3. Iluminancia promedio en áreas regulares con luminarias espaciadas en dos o más filas.

$$E_{prom} = \frac{R(N - 1)(M - 1) + Q(N - 1) + T(M - 1) + P}{NM}$$

Donde:

E_{prom} Iluminancia promedio

N Número de luminarias por fila.

M Número de filas.

6.2 INSTRUMENTO DE MEDIDA

Para la toma de las medidas se empleó un luxómetro marca LUTRON referencia LX-1108 (Ver figura 20). El cuadro 4 muestra las características del instrumento.

Figura 20. Luxómetro LX 1108.



Fuente Catálogo Lutron LX-1108. Disponible desde internet:
<<http://viaindustrial.com/producto.asp?codigo=300433>>

Cuadro 5. Especificaciones generales del luxómetro Lutrón LX-1108

| ESPECIFICACIONES GENERALES | | | |
|--------------------------------|---|--------------------------|---|
| Pantalla | Pantalla LCD Tamaño 52x38 mm, 4 dígitos | Salida de datos | Puerto RS-232 |
| Medidas & Rangos | 5 rangos: 40,00/400,0 Lux 4,000/40,000/400,000 | Temperatura de operación | 0 a 50 °C (32 a 122 °F) |
| Unidades | Lux, Pie-Candela (Ft-cd) | Humedad de operación | Max. 80% RH. |
| Selección del tipo de luz | Tungsteno, Fluorescente, Sodio, Mercurio. | Suministro de energía | Batería de 9V DC. 006 P, MN1604 (PP3) o equivalente. |
| Sensor | El exclusivo foto diodo & el filtro de corrección de color, satisfacen el factor de coseno de corrección de la C.I.E. | Consumo de energía | Aprox. 8mA DC |
| Ajuste a cero | Ajuste externo con pulsar un botón. | Peso | 220g/0,48 lb. |
| Registro de pico | Mantiene el valor pico en la pantalla | Dimensiones | Instrumento principal: 200x68x30 mm (7,9x2,7x1,2 in) Sensor: 82x55x7 mm (3,2x2,2x0,3 in) |
| Registro de dato | Para congelar el valor en pantalla | | |
| Memoria | Guarda en valor máximo y mínimo | Accesorios incluidos | Manual de instrucciones Sensor de luz con cobertor para protección. |
| Apagado | Apagado automático o manual. | Accesorios opcionales | Cable RS232, UPCB-02 |
| Indicador de sobre o sub rango | Indica si está sobre o por debajo del rango: "-----" | | Cable USB, USB-01 Aplicación para software, SW-U801-WIN |

Fuente Catálogo Lutron LX-1108. Disponible desde internet:
<<http://viaindustrial.com/producto.asp?codigo=300433>>

6.3 NIVELES DE ILUMINANCIA

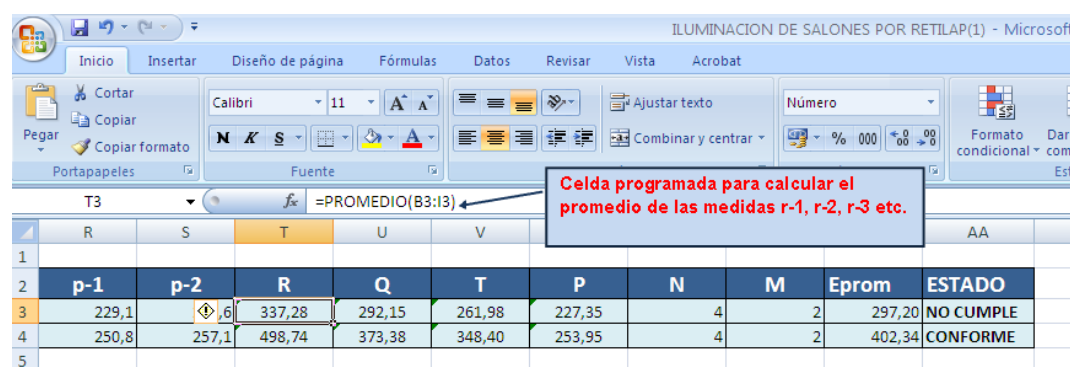
Las medidas indicadas en la tabla 6 se tomaron de acuerdo a la metodología elegida y corresponde a las medidas de iluminancia registradas para el bloque 2. La unidad de medida correspondiente es el Lux.

Tabla 6. Medidas de iluminancia del bloque 2

| Nº | r-1 | r-2 | r-3 | r-4 | r-5 | r-6 | r-7 | r-8 | q-1 | q-2 | q-3 | q-4 | t-1 | t-2 | t-3 | t-4 | p-1 | p-2 |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 2410 | 340,8 | 344,6 | 345,7 | 346,1 | 329,1 | 330,7 | 330 | 331,2 | 307,2 | 306,9 | 275,9 | 278,6 | 259,8 | 258,7 | 265,1 | 264,3 | 229,1 | 225,6 |
| 2411 | 503,7 | 508,4 | 510,2 | 514,7 | 485,7 | 487,1 | 489,4 | 490,7 | 372,7 | 379,7 | 369,2 | 371,9 | 342,7 | 340,1 | 352,4 | 358,4 | 250,8 | 257,1 |

Las medidas correspondientes a los bloques 3, 5, 7, 8, 9 y Ei, se encuentran en los anexos del documento. Todas estas medidas se tabularon en una hoja de cálculo del programa Microsoft Excel, en la cual previamente se realizó la programación de celdas para obtener los valores de R, Q, T y P (Ver figura 21), luego se programó otra celda con la ecuación de iluminancia promedio (Ver figura 22), para finalizar se programó un condicional que permitía establecer si el nivel de iluminancia promedio cumplía o no con el nivel mínimo estipulado (Ver figura 23).

Figura 21. Programación en Excel para el cálculo de R



The screenshot shows the Microsoft Excel interface. The formula bar at the top displays the formula `=PROMEDIO(B3:I3)`. A tooltip points to the formula bar with the text: "Celda programada para calcular el promedio de las medidas r-1, r-2, r-3 etc." The spreadsheet below shows a table with columns labeled R, S, T, U, V, AA. Row 3 contains values for p-1, p-2, R, Q, T, P, N, M, Eprom, and ESTADO. Row 4 contains values for p-1, p-2, R, Q, T, P, N, M, Eprom, and ESTADO.

| | R | S | T | U | V | AA |
|---|-------|-------|--------|--------|--------|--------|
| 1 | | | | | | |
| 2 | p-1 | p-2 | R | Q | T | P |
| 3 | 229,1 | 257,1 | 337,28 | 292,15 | 261,98 | 227,35 |
| 4 | 250,8 | 257,1 | 498,74 | 373,38 | 348,40 | 253,95 |
| 5 | | | | | | |

Figura 22. Programación en Excel para el cálculo de la Iluminancia promedio

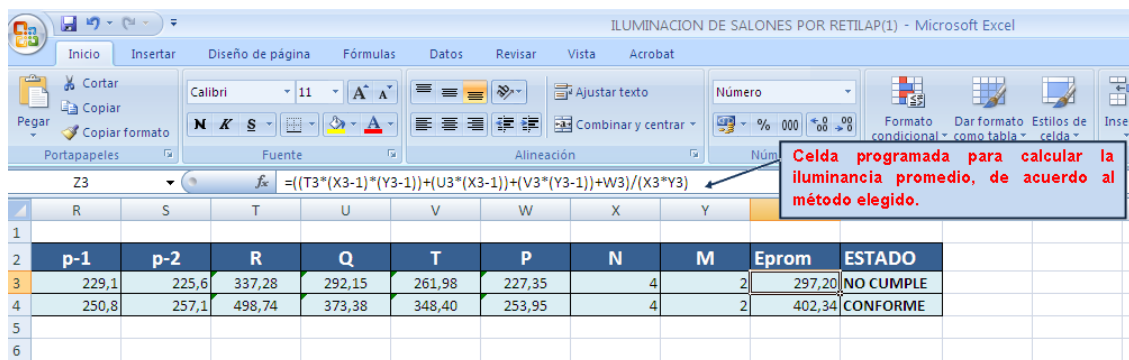
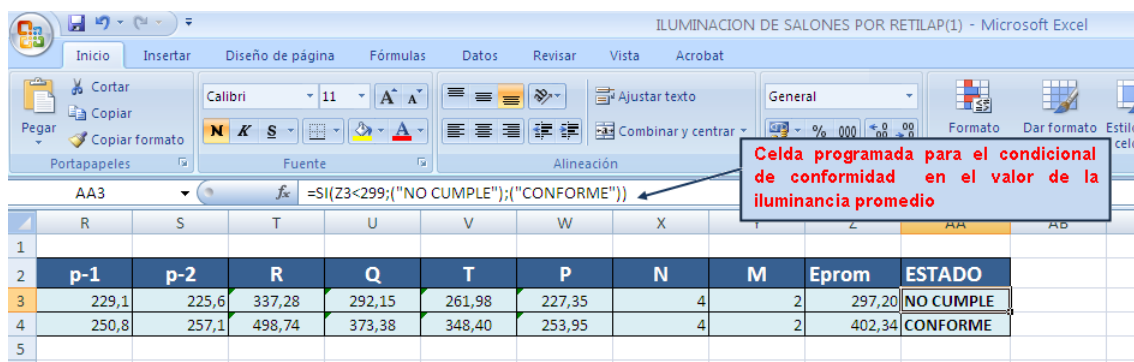


Figura 23. Programación en Excel para el condicional de conformidad en la iluminancia promedio



Los resultados encontrados se muestran a continuación:

Tabla 7. Resultados de iluminancia promedio bloque 2

| SALÓN | R | Q | T | P | N | M | Eprom | ESTADO |
|-------|--------|--------|--------|--------|---|---|--------|-----------|
| 2410 | 337,28 | 292,15 | 261,98 | 227,35 | 4 | 2 | 297,20 | NO CUMPLE |
| 2411 | 498,74 | 373,38 | 348,40 | 253,95 | 4 | 2 | 402,34 | CONFORME |

Tabla 8. Resultados de iluminancia promedio bloque 3

| SALÓN | R | Q | T | P | N | M | Eprom | ESTADO |
|-------|--------|--------|--------|--------|---|---|--------|-----------|
| 3212 | 436,58 | 388,40 | 244,80 | 385,45 | 4 | 2 | 388,15 | CONFORME |
| 3201 | 503,01 | 405,83 | 359,90 | 389,55 | 4 | 2 | 434,50 | CONFORME |
| 3202 | 452,84 | 475,33 | 519,10 | 332,10 | 4 | 2 | 454,46 | CONFORME |
| 3206 | 373,34 | 258,98 | 389,43 | 360,50 | 4 | 2 | 330,86 | CONFORME |
| 3207 | 176,14 | 206,75 | 245,38 | 244,90 | 4 | 2 | 204,87 | NO CUMPLE |
| 3301 | 516,28 | 495,90 | 416,88 | 410,20 | 4 | 2 | 482,95 | CONFORME |
| 3302 | 490,53 | 434,10 | 457,45 | 352,15 | 4 | 2 | 447,93 | CONFORME |
| 3303 | 485,81 | 441,48 | 408,03 | 387,75 | 4 | 2 | 447,20 | CONFORME |
| 3304 | 496,03 | 451,08 | 420,50 | 379,50 | 4 | 2 | 455,16 | CONFORME |
| 3305 | 549,58 | 466,35 | 390,00 | 368,65 | 4 | 2 | 475,80 | CONFORME |
| 3306 | 464,03 | 429,15 | 373,48 | 365,25 | 4 | 2 | 427,28 | CONFORME |
| 3407 | 565,90 | 539,98 | 429,90 | 404,05 | 4 | 2 | 518,95 | CONFORME |
| 3408 | 543,24 | 461,40 | 427,60 | 394,65 | 4 | 2 | 479,52 | CONFORME |
| 3409 | 496,00 | 449,98 | 360,43 | 313,40 | 4 | 2 | 438,97 | CONFORME |
| 3410 | 328,81 | 302,48 | 216,63 | 128,55 | 4 | 2 | 279,88 | NO CUMPLE |
| 3411 | 468,08 | 402,90 | 374,73 | 362,65 | 4 | 2 | 418,79 | CONFORME |

Tabla 9. Resultados de iluminancia promedio bloque 5

| SALÓN | R | Q | T | P | N | M | Eprom | ESTADO |
|-------|--------|--------|--------|--------|---|---|--------|-----------|
| 5201 | 513,18 | 453,13 | 425,85 | 372,60 | 4 | 2 | 462,17 | CONFORME |
| 5202 | 581,28 | 534,33 | 504,65 | 453,55 | 4 | 2 | 538,13 | CONFORME |
| 5203 | 619,88 | 520,35 | 475,40 | 460,10 | 4 | 2 | 544,52 | CONFORME |
| 5204 | 512,20 | 468,88 | 454,75 | 399,85 | 4 | 2 | 474,73 | CONFORME |
| 5205 | 529,05 | 474,63 | 405,23 | 334,60 | 6 | 2 | 479,85 | CONFORME |
| 5206 | 362,74 | 315,65 | 291,03 | 173,80 | 4 | 2 | 312,50 | CONFORME |
| 5207 | 564,18 | 463,25 | 273,95 | 210,80 | 4 | 2 | 445,88 | CONFORME |
| 5208 | 333,04 | 315,98 | 189,90 | 163,30 | 4 | 2 | 287,53 | NO CUMPLE |
| 5301 | 537,84 | 472,43 | 429,35 | 372,15 | 4 | 2 | 479,04 | CONFORME |
| 5302 | 551,36 | 490,08 | 447,68 | 395,85 | 4 | 2 | 495,98 | CONFORME |
| 5303 | 735,58 | 612,15 | 484,58 | 473,65 | 4 | 2 | 625,18 | CONFORME |
| 5304 | 500,48 | 511,63 | 477,88 | 451,75 | 4 | 2 | 495,74 | CONFORME |
| 5305 | 453,55 | 421,55 | 407,68 | 379,55 | 4 | 2 | 426,57 | CONFORME |
| 5306 | 362,04 | 342,48 | 266,75 | 256,15 | 4 | 2 | 329,55 | CONFORME |
| 5307 | 269,88 | 224,18 | 120,65 | 105,20 | 4 | 2 | 213,50 | NO CUMPLE |
| 5308 | 273,51 | 204,45 | 171,58 | 124,30 | 4 | 2 | 216,22 | NO CUMPLE |
| 5309 | 494,46 | 483,55 | 316,80 | 323,15 | 4 | 2 | 446,75 | CONFORME |
| 5310 | 550,05 | 513,03 | 329,38 | 283,65 | 4 | 2 | 475,28 | CONFORME |
| 5311 | 466,74 | 439,75 | 387,48 | 308,65 | 4 | 2 | 426,95 | CONFORME |
| 5312 | 432,90 | 391,60 | 368,88 | 346,55 | 4 | 2 | 398,62 | CONFORME |

Tabla 10. Resultados de iluminancia promedio bloque 7

| SALÓN | R | Q | T | P | N | M | Eprom | ESTADO |
|-------------|--------|--------|--------|--------|---|---|--------|------------------|
| 7201 | 150,75 | 142,43 | 135,20 | 129,95 | 3 | 2 | 141,92 | NO CUMPLE |
| 7202 | 230,51 | 181,53 | 144,45 | 114,75 | 3 | 2 | 180,55 | NO CUMPLE |
| 7203 | 482,41 | 426,43 | 366,35 | 315,90 | 3 | 2 | 416,65 | CONFORME |
| 7204 | 259,21 | 221,78 | 208,20 | 198,35 | 4 | 2 | 231,19 | NO CUMPLE |
| 7301 | 315,00 | 242,20 | 217,58 | 198,00 | 3 | 2 | 255,00 | NO CUMPLE |
| 7302 | 324,50 | 260,43 | 209,70 | 192,40 | 3 | 2 | 261,99 | NO CUMPLE |
| 7303 | 290,21 | 259,05 | 186,68 | 165,90 | 3 | 2 | 241,85 | NO CUMPLE |
| 7304 | 176,64 | 153,25 | 131,30 | 119,15 | 3 | 2 | 151,70 | NO CUMPLE |
| 7401 | 255,03 | 217,40 | 182,48 | 155,60 | 3 | 2 | 213,82 | NO CUMPLE |
| 7402 | 240,65 | 213,45 | 193,23 | 178,30 | 3 | 2 | 213,29 | NO CUMPLE |
| 7403 | 666,85 | 477,55 | 391,63 | 333,70 | 3 | 2 | 502,35 | CONFORME |
| 7404 | 126,38 | 115,05 | 106,13 | 63,70 | 3 | 2 | 108,78 | NO CUMPLE |
| 7501 | 504,94 | 412,95 | 384,63 | 367,00 | 3 | 2 | 431,23 | CONFORME |
| 7502 | 353,25 | 279,60 | 232,15 | 176,80 | 3 | 2 | 279,11 | NO CUMPLE |
| 7503 | 466,53 | 385,33 | 336,00 | 278,40 | 4 | 2 | 396,24 | CONFORME |
| 7504 | 473,51 | 354,88 | 260,53 | 246,05 | 4 | 2 | 373,97 | CONFORME |

Tabla 11. Resultados de iluminancia promedio bloque 8

| SALÓN | R | Q | T | P | N | M | Eprom | ESTADO |
|-------------|--------|--------|--------|--------|---|---|--------|-----------------|
| 8301 | 511,54 | 484,63 | 451,75 | 394,85 | 3 | 2 | 473,15 | CONFORME |
| 8302 | 510,24 | 483,33 | 450,45 | 425,55 | 3 | 2 | 477,19 | CONFORME |
| 8303 | 506,34 | 479,43 | 446,55 | 389,65 | 3 | 2 | 467,95 | CONFORME |
| 8304 | 495,95 | 412,90 | 410,18 | 382,10 | 3 | 2 | 435,00 | CONFORME |
| 8401 | 515,84 | 488,93 | 456,05 | 399,15 | 3 | 2 | 477,45 | CONFORME |
| 8402 | 512,64 | 485,73 | 452,85 | 395,95 | 3 | 2 | 474,25 | CONFORME |
| 8403 | 509,44 | 482,53 | 449,65 | 392,75 | 3 | 2 | 471,05 | CONFORME |
| 8404 | 497,25 | 414,20 | 411,48 | 383,40 | 3 | 2 | 436,30 | CONFORME |
| 8501 | 515,84 | 488,92 | 456,05 | 399,15 | 3 | 2 | 477,45 | CONFORME |
| 8502 | 512,64 | 485,72 | 452,85 | 395,95 | 3 | 2 | 474,25 | CONFORME |
| 8503 | 512,14 | 485,23 | 452,35 | 395,45 | 3 | 2 | 473,75 | CONFORME |
| 8504 | 498,65 | 415,60 | 412,88 | 384,80 | 3 | 2 | 437,70 | CONFORME |

Tabla 12. Resultados de iluminancia promedio bloque 9

| SALÓN | R | Q | T | P | N | M | Eprom | ESTADO |
|-------|--------|--------|--------|--------|---|---|--------|----------|
| 9201 | 655,18 | 578,85 | 437,83 | 364,35 | 4 | 3 | 575,63 | CONFORME |
| 9202 | 417,41 | 311,23 | 262,20 | 213,70 | 4 | 3 | 348,02 | CONFORME |
| 9203 | 399,58 | 371,03 | 350,38 | 341,70 | 6 | 2 | 378,76 | CONFORME |
| 9301 | 677,30 | 610,13 | 456,13 | 398,30 | 4 | 3 | 600,39 | CONFORME |
| 9302 | 459,48 | 358,45 | 300,90 | 250,15 | 4 | 3 | 390,35 | CONFORME |
| 9303 | 452,56 | 400,93 | 389,85 | 386,20 | 6 | 2 | 420,29 | CONFORME |
| 9304 | 496,03 | 451,08 | 420,50 | 379,50 | 6 | 2 | 461,29 | CONFORME |
| 9401 | 669,24 | 595,60 | 455,95 | 383,80 | 4 | 3 | 591,49 | CONFORME |
| 9402 | 444,09 | 346,55 | 291,48 | 212,25 | 4 | 3 | 374,95 | CONFORME |
| 9403 | 439,33 | 391,10 | 372,65 | 360,95 | 6 | 2 | 407,14 | CONFORME |
| 9404 | 511,23 | 466,28 | 435,70 | 394,70 | 6 | 2 | 476,49 | CONFORME |
| 9501 | 664,31 | 599,35 | 462,20 | 376,50 | 4 | 3 | 590,40 | CONFORME |
| 9502 | 445,91 | 352,65 | 304,18 | 254,20 | 4 | 3 | 383,00 | CONFORME |
| 9503 | 460,03 | 432,98 | 406,08 | 390,65 | 6 | 2 | 438,48 | CONFORME |
| 9504 | 507,13 | 462,18 | 431,60 | 390,60 | 6 | 2 | 472,39 | CONFORME |

Tabla 13. Resultados de iluminancia promedio bloque Ei

| SALÓN | R | Q | T | P | N | M | Eprom | ESTADO |
|--------|--------|--------|--------|--------|---|---|--------|-----------|
| Ei-101 | 358,28 | 337,25 | 310,73 | 236,15 | 4 | 2 | 329,18 | CONFORME |
| Ei-102 | 330,70 | 310,25 | 246,25 | 204,70 | 4 | 2 | 296,73 | NO CUMPLE |
| Ei-103 | 333,58 | 290,40 | 237,80 | 150,90 | 4 | 2 | 282,58 | NO CUMPLE |
| Ei-104 | 333,91 | 280,60 | 238,30 | 208,40 | 4 | 2 | 286,28 | NO CUMPLE |
| Ei-105 | 395,34 | 387,48 | 383,10 | 375,85 | 4 | 2 | 388,42 | CONFORME |
| Ei-106 | 333,91 | 280,60 | 238,30 | 208,40 | 4 | 2 | 286,28 | NO CUMPLE |
| Ei-107 | 530,94 | 494,35 | 386,80 | 356,20 | 6 | 2 | 489,12 | CONFORME |
| Ei-108 | 529,05 | 474,63 | 405,23 | 334,60 | 6 | 2 | 479,85 | CONFORME |
| Ei-109 | 583,29 | 551,90 | 509,10 | 368,15 | 6 | 2 | 546,10 | CONFORME |
| Ei-110 | 681,30 | 664,53 | 623,33 | 560,85 | 4 | 2 | 652,71 | CONFORME |

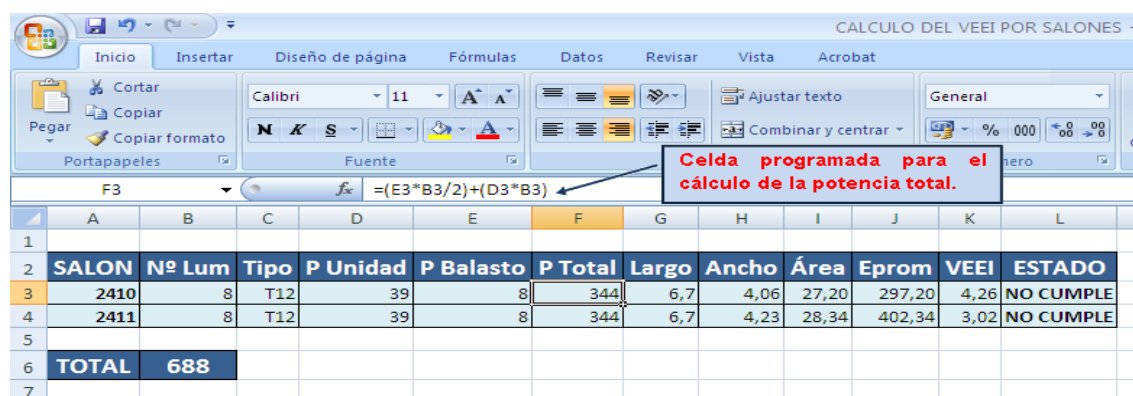
Todos estos resultados se evaluaron de conformidad con la sección 410.1 del Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público RETILAP, la cual establece que para los salones de clases de uso general el nivel de iluminancia mínimo es de 300 Luxes, el nivel de iluminancia medio corresponde a 500 Luxes y el nivel máximo a 750 Luxes. Esta sección establece además que “En cualquier momento durante la vida útil del proyecto la medición de iluminancia promedio no podrá ser superior al valor máximo, ni inferior al valor mínimo

establecido en la Tabla 410.1²⁴. Con excepción de los salones 2407 y 2412, todas las aulas de la Universidad de la Costa que prestan servicios de educación generales, se evaluaron de acuerdo a la metodología planteada. Para el caso del aula 2412, no se empleó el proceso debido a que esta no presenta las características del método elegido, en esta aula hay presencia de desequilibrio en la distribución de las luminarias. En el aula 2407, la forma de instalación luminaria presente no corresponde con el método elegido, sin embargo esta aula podría ser evaluada de acuerdo a la metodología “*Medición de iluminancia promedio, en áreas regulares con cielorraso luminoso con luminarias con rejillas*”.

6.4 CÁLCULO DEL VALOR DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LA INSTALACIÓN (VEEI)

Luego de realizar el cálculo de la iluminancia promedio en cada uno de los salones de la Universidad de la Costa, se realizó el cálculo del Valor de la Eficiencia Energética (VEEI). Es importante resaltar que las aulas de clases están catalogadas como zonas de baja importancia lumínica, de acuerdo a sección 440.1 del Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público. Para esta labor también se recurrió al uso de una hoja programada en Microsoft Excel. En primer lugar se programó una celda para el cálculo de la potencia total del salón (Ver figura 24), el cálculo del área del salón (Ver figura 25) y el cálculo del VEEI (Ver figura 26), por último se programó un condicional que permitió evaluar si se cumplía con el valor límite del VEEI (Ver figura 27).

Figura 24. Programación en Excel para el cálculo de la potencia total del salón



| | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L |
|---|--------------|---------------|-------------|-----------------|------------------|----------------|--------------|--------------|-------------|--------------|-------------|---------------|
| 1 | | | | | | | | | | | | |
| 2 | SALON | Nº Lum | Tipo | P Unidad | P Balasto | P Total | Largo | Ancho | Área | Eprom | VEEI | ESTADO |
| 3 | 2410 | 8 | T12 | 39 | 8 | 344 | 6,7 | 4,06 | 27,20 | 297,20 | 4,26 | NO CUMPLE |
| 4 | 2411 | 8 | T12 | 39 | 8 | 344 | 6,7 | 4,23 | 28,34 | 402,34 | 3,02 | NO CUMPLE |
| 5 | | | | | | | | | | | | |
| 6 | TOTAL | 688 | | | | | | | | | | |
| 7 | | | | | | | | | | | | |

²⁴ COLOMBIA, MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Op. Cit., p.86.

Figura 25. Programación en Excel para el cálculo del área del salón

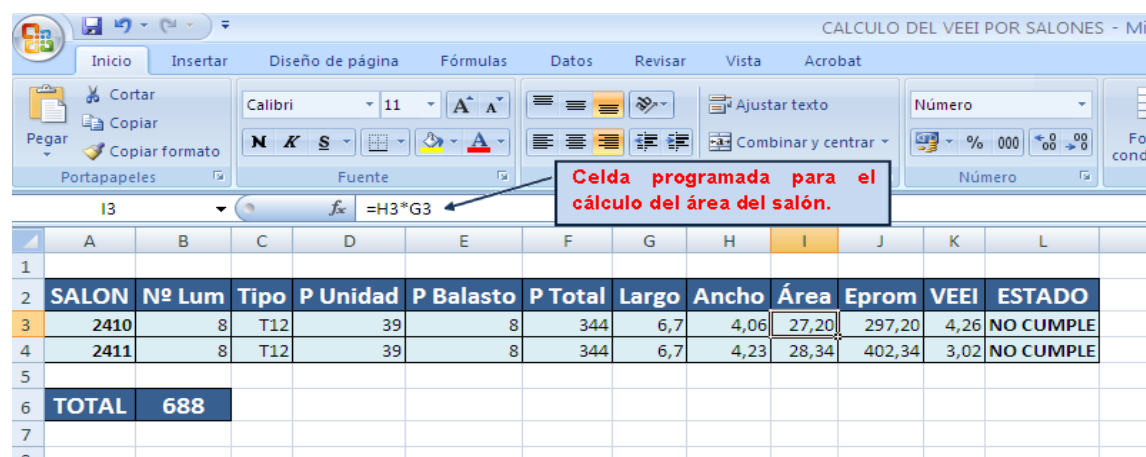


Figura 26. Programación en Excel para el cálculo del VEEI

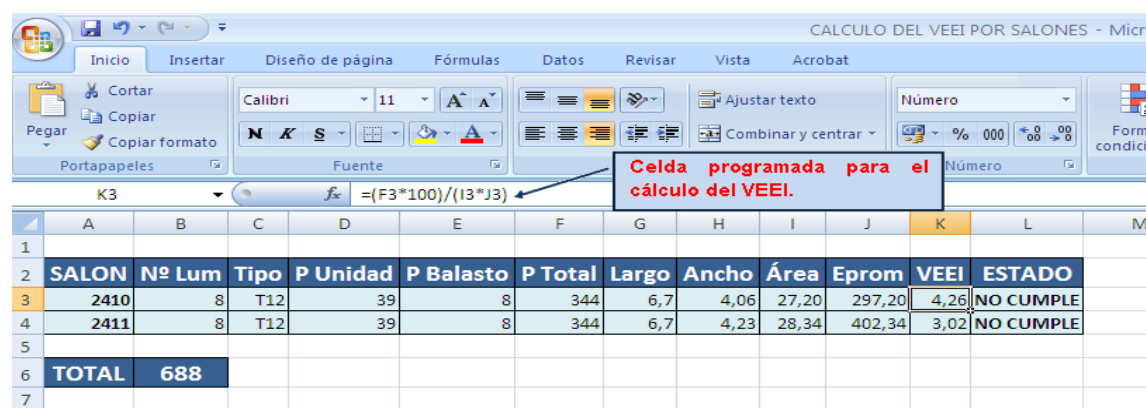
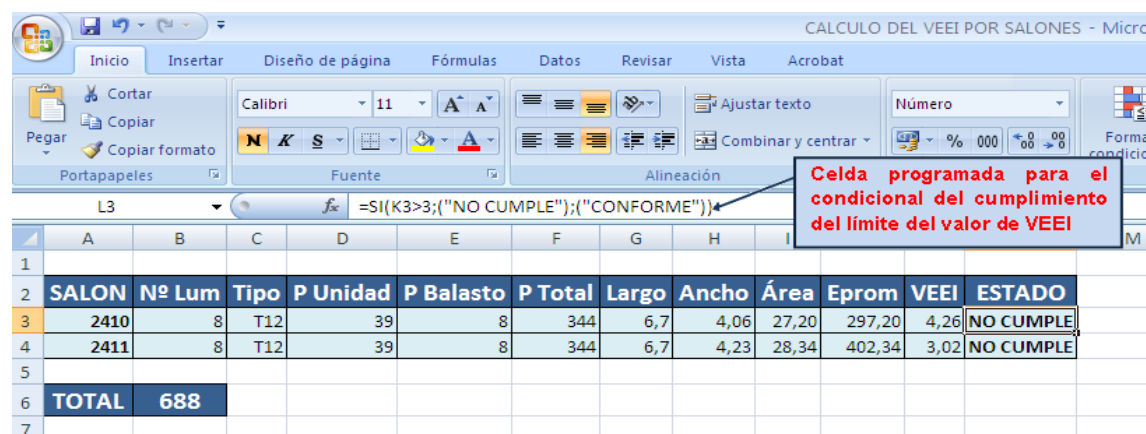


Figura 27. Programación en Excel del condicional de cumplimiento del límite de VEEI



A continuación se muestran los resultados obtenidos en cada uno los salones que conforman los bloques estudiados.

Tabla 14. Valores de Eficiencia Energética del bloque 2

| Nº | Nº Lum | Tipo | P Und (W) | P Balasto (W) | P Total (W) | Largo (m) | Ancho (m) | Área (m ²) | Eprom (Luxes) | VEEI | ESTADO |
|------|--------|------|-----------|---------------|-------------|-----------|-----------|------------------------|---------------|------|-----------|
| 2410 | 8 | T12 | 39 | 8 | 344 | 6,7 | 4,06 | 27,20 | 297,20 | 4,26 | NO CUMPLE |
| 2411 | 8 | T12 | 39 | 8 | 344 | 6,7 | 4,23 | 28,34 | 402,34 | 3,02 | CONFORME |

Tabla 15. Valores de Eficiencia Energética del bloque 3

| Nº | Nº Lum | Tipo | P Und (W) | P Balasto (W) | P Total (W) | Largo (m) | Ancho (m) | Área (m ²) | Eprom (Luxes) | VEEI | ESTADO |
|------|--------|------|-----------|---------------|-------------|-----------|-----------|------------------------|---------------|------|-----------|
| 3212 | 8 | T8 | 32 | 3 | 268 | 6,5 | 4,07 | 26,46 | 388,15 | 2,61 | CONFORME |
| 3201 | 8 | T8 | 32 | 3 | 268 | 6,5 | 4,07 | 26,46 | 434,50 | 2,33 | CONFORME |
| 3202 | 8 | T8 | 32 | 3 | 268 | 6,5 | 4,07 | 26,46 | 454,46 | 2,23 | CONFORME |
| 3206 | 8 | T8 | 32 | 3 | 268 | 8,5 | 5,12 | 43,52 | 330,86 | 1,86 | CONFORME |
| 3207 | 12 | T8 | 32 | 3 | 402 | 11,9 | 5 | 59,50 | 204,87 | 3,30 | NO CUMPLE |
| 3301 | 8 | T8 | 32 | 3 | 268 | 6,5 | 4,07 | 26,46 | 482,95 | 2,10 | CONFORME |
| 3302 | 8 | T8 | 32 | 3 | 268 | 6,5 | 4,07 | 26,46 | 447,93 | 2,26 | CONFORME |
| 3303 | 8 | T8 | 32 | 3 | 268 | 6,5 | 4,07 | 26,46 | 447,20 | 2,27 | CONFORME |
| 3304 | 8 | T8 | 32 | 3 | 268 | 6,28 | 5 | 31,40 | 455,16 | 1,88 | CONFORME |
| 3305 | 8 | T8 | 32 | 3 | 268 | 8,45 | 5,82 | 49,18 | 475,80 | 1,15 | CONFORME |
| 3306 | 8 | T8 | 32 | 3 | 268 | 8,5 | 5,12 | 43,52 | 427,28 | 1,44 | CONFORME |
| 3407 | 8 | T8 | 32 | 3 | 268 | 6,5 | 4,07 | 26,46 | 518,95 | 1,95 | CONFORME |
| 3408 | 8 | T8 | 32 | 3 | 268 | 6,5 | 4,07 | 26,46 | 479,52 | 2,11 | CONFORME |
| 3409 | 8 | T8 | 32 | 3 | 268 | 6,5 | 4,07 | 26,46 | 438,97 | 2,31 | CONFORME |
| 3410 | 8 | T8 | 32 | 3 | 268 | 6,28 | 5 | 31,40 | 279,88 | 3,05 | NO CUMPLE |
| 3411 | 8 | T8 | 32 | 3 | 268 | 6,28 | 5,01 | 31,46 | 418,79 | 2,03 | CONFORME |

Tabla 16. Valores de Eficiencia Energética del bloque 5

| Nº | Nº Lum | Tipo | P Und (W) | P Balasto (W) | P Total (W) | Largo (m) | Ancho (m) | Área (m2) | Eprom (Luxes) | VEEI | ESTADO |
|------|--------|------|-----------|---------------|-------------|-----------|-----------|-----------|---------------|------|-----------|
| 5201 | 8 | T12 | 39 | 8 | 344 | 4,98 | 5,41 | 26,94 | 462,17 | 2,76 | CONFORME |
| 5202 | 8 | T12 | 39 | 8 | 344 | 4,98 | 5,2 | 25,90 | 538,13 | 2,47 | CONFORME |
| 5203 | 8 | T12 | 39 | 8 | 344 | 4,98 | 4,05 | 20,17 | 544,52 | 3,13 | CONFORME |
| 5204 | 8 | T12 | 39 | 8 | 344 | 4,98 | 5,2 | 25,90 | 474,73 | 2,80 | CONFORME |
| 5205 | 16 | T12 | 39 | 8 | 688 | 4,77 | 10,84 | 51,71 | 479,85 | 2,77 | CONFORME |
| 5206 | 8 | T12 | 39 | 8 | 344 | 8,69 | 5,39 | 46,84 | 312,50 | 2,35 | CONFORME |
| 5207 | 8 | T12 | 39 | 8 | 344 | 6,44 | 5,27 | 33,94 | 445,88 | 2,27 | CONFORME |
| 5208 | 8 | T12 | 39 | 8 | 344 | 6,44 | 5,27 | 33,94 | 287,53 | 3,53 | NO CUMPLE |
| 5301 | 8 | T12 | 39 | 8 | 344 | 4,98 | 5,41 | 26,94 | 479,04 | 2,67 | CONFORME |
| 5302 | 8 | T12 | 39 | 8 | 344 | 4,98 | 5,2 | 25,90 | 495,98 | 2,68 | CONFORME |
| 5303 | 8 | T12 | 39 | 8 | 344 | 4,98 | 4,05 | 20,17 | 625,18 | 2,73 | CONFORME |
| 5304 | 8 | T12 | 39 | 8 | 344 | 4,98 | 5,2 | 25,90 | 495,74 | 2,68 | CONFORME |
| 5305 | 8 | T12 | 39 | 8 | 344 | 4,98 | 4,05 | 20,17 | 426,57 | 4,00 | CONFORME |
| 5306 | 8 | T12 | 39 | 8 | 344 | 6,09 | 5,42 | 33,01 | 329,55 | 3,16 | CONFORME |
| 5307 | 12 | T12 | 39 | 8 | 516 | 7,64 | 5,51 | 42,10 | 213,50 | 5,74 | NO CUMPLE |
| 5308 | 8 | T12 | 39 | 8 | 344 | 6,44 | 5,27 | 33,94 | 216,22 | 4,69 | NO CUMPLE |
| 5309 | 8 | T12 | 39 | 8 | 344 | 6,44 | 5,27 | 33,94 | 446,75 | 2,27 | CONFORME |
| 5310 | 8 | T12 | 39 | 8 | 344 | 6,52 | 4,06 | 26,47 | 475,28 | 2,73 | CONFORME |
| 5311 | 8 | T12 | 39 | 8 | 344 | 6,52 | 5,32 | 34,69 | 426,95 | 2,32 | CONFORME |
| 5312 | 8 | T12 | 39 | 8 | 344 | 6,52 | 5,32 | 34,69 | 398,62 | 2,49 | CONFORME |

Tabla 17. Valores de Eficiencia Energética del bloque 7

| Nº | Nº Lum | Tipo | P Und (W) | P Balasto (W) | P Total (W) | Largo (m) | Ancho (m) | Área (m ²) | Eprom (Luxes) | VEEI | ESTADO |
|------|--------|------|-----------|---------------|-------------|-----------|-----------|------------------------|---------------|------|-----------|
| 7201 | 6 | C-12 | 32 | 6 | 228 | 8,63 | 4,96 | 42,80 | 141,92 | 3,75 | NO CUMPLE |
| 7202 | 6 | C-12 | 32 | 6 | 228 | 8,63 | 5 | 43,15 | 180,55 | 2,93 | NO CUMPLE |
| 7203 | 6 | C-12 | 32 | 6 | 228 | 8,63 | 4,88 | 42,11 | 416,65 | 1,30 | CONFORME |
| 7204 | 8 | T8 | 32 | 3 | 268 | 8,63 | 5,13 | 44,27 | 231,19 | 2,62 | NO CUMPLE |
| 7301 | 6 | C-12 | 32 | 6 | 228 | 8,63 | 4,96 | 42,80 | 255,00 | 2,09 | NO CUMPLE |
| 7302 | 6 | C-12 | 32 | 6 | 228 | 8,63 | 5 | 43,15 | 261,99 | 2,02 | NO CUMPLE |
| 7303 | 6 | C-12 | 32 | 6 | 228 | 8,63 | 4,88 | 42,11 | 241,85 | 2,24 | NO CUMPLE |
| 7304 | 6 | C-12 | 32 | 6 | 228 | 8,63 | 5,13 | 44,27 | 151,70 | 3,39 | NO CUMPLE |
| 7401 | 6 | C-12 | 32 | 6 | 228 | 8,63 | 4,96 | 42,80 | 213,82 | 2,49 | NO CUMPLE |
| 7402 | 6 | C-12 | 32 | 6 | 228 | 8,63 | 5 | 43,15 | 213,29 | 2,48 | NO CUMPLE |
| 7403 | 6 | C-12 | 32 | 6 | 228 | 8,63 | 4,88 | 42,11 | 502,35 | 1,08 | CONFORME |
| 7404 | 6 | C-12 | 32 | 6 | 228 | 8,63 | 5,13 | 44,27 | 108,78 | 4,73 | NO CUMPLE |
| 7501 | 6 | C-12 | 32 | 6 | 228 | 8,63 | 4,96 | 42,80 | 431,23 | 1,24 | CONFORME |
| 7502 | 6 | C-12 | 32 | 6 | 228 | 8,63 | 5 | 43,15 | 279,11 | 1,89 | NO CUMPLE |
| 7503 | 6 | C-12 | 32 | 6 | 228 | 8,63 | 4,88 | 42,11 | 396,24 | 1,37 | CONFORME |
| 7504 | 8 | T8 | 32 | 3 | 268 | 8,63 | 5,13 | 44,27 | 373,97 | 1,62 | CONFORME |

Tabla 18. Valores de Eficiencia Energética del bloque 8

| Nº | Nº Lum | Tipo | P Und (W) | P Balasto (W) | P Total (W) | Largo (m) | Ancho (m) | Área (m ²) | Eprom (Luxes) | VEEI | ESTADO |
|------|--------|------|-----------|---------------|-------------|-----------|-----------|------------------------|---------------|------|----------|
| 8301 | 12 | T8 | 32 | 3 | 402 | 7,87 | 4,95 | 38,96 | 473,15 | 2,18 | CONFORME |
| 8302 | 12 | T8 | 32 | 3 | 402 | 7,87 | 4,95 | 38,96 | 477,19 | 2,16 | CONFORME |
| 8303 | 12 | T8 | 32 | 3 | 402 | 7,87 | 4,95 | 38,96 | 467,95 | 2,21 | CONFORME |
| 8304 | 12 | T8 | 32 | 3 | 402 | 10 | 5 | 50,00 | 435,00 | 1,85 | CONFORME |
| 8401 | 12 | T8 | 32 | 3 | 402 | 7,87 | 4,95 | 38,96 | 477,45 | 2,16 | CONFORME |
| 8402 | 12 | T8 | 32 | 3 | 402 | 7,87 | 4,95 | 38,96 | 474,25 | 2,18 | CONFORME |
| 8403 | 12 | T8 | 32 | 3 | 402 | 7,87 | 4,95 | 38,96 | 471,05 | 2,19 | CONFORME |
| 8404 | 12 | T8 | 32 | 3 | 402 | 10 | 5 | 50,00 | 436,30 | 1,84 | CONFORME |
| 8501 | 12 | T8 | 32 | 3 | 402 | 7,87 | 4,95 | 38,96 | 477,45 | 2,16 | CONFORME |
| 8501 | 12 | T8 | 32 | 3 | 402 | 7,87 | 4,95 | 38,96 | 474,25 | 2,18 | CONFORME |
| 8501 | 12 | T8 | 32 | 3 | 402 | 7,87 | 4,95 | 38,96 | 473,75 | 2,18 | CONFORME |
| 8501 | 12 | T8 | 32 | 3 | 402 | 10 | 5 | 50,00 | 437,70 | 1,84 | CONFORME |

Tabla 19. Valores de Eficiencia Energética del bloque 9

| Nº | Nº Lum | Tipo | P Und (W) | P Balasto (W) | P Total (W) | Largo (m) | Ancho (m) | Área (m²) | Eprom (Luxes) | VEEI | ESTADO |
|------|--------|------|-----------|---------------|-------------|-----------|-----------|-----------|---------------|------|----------|
| 9201 | 12 | T8 | 32 | 3 | 402 | 6,14 | 5,22 | 32,05 | 575,63 | 2,18 | CONFORME |
| 9202 | 12 | T8 | 32 | 3 | 402 | 6,14 | 5,95 | 36,53 | 348,02 | 3,16 | CONFORME |
| 9203 | 12 | T8 | 32 | 3 | 402 | 7,38 | 5,41 | 39,93 | 378,76 | 2,66 | CONFORME |
| 9301 | 12 | T8 | 32 | 3 | 402 | 6,14 | 5,22 | 32,05 | 600,39 | 2,09 | CONFORME |
| 9302 | 12 | T8 | 32 | 3 | 402 | 6,14 | 5,95 | 36,53 | 390,35 | 2,82 | CONFORME |
| 9303 | 12 | T8 | 32 | 3 | 402 | 7,38 | 5,41 | 39,93 | 420,29 | 2,40 | CONFORME |
| 9304 | 12 | T8 | 32 | 3 | 402 | 6,72 | 5,41 | 36,36 | 461,29 | 2,40 | CONFORME |
| 9401 | 12 | T8 | 32 | 3 | 402 | 6,14 | 5,22 | 32,05 | 591,49 | 2,12 | CONFORME |
| 9402 | 12 | T8 | 32 | 3 | 402 | 6,14 | 5,95 | 36,53 | 374,95 | 2,93 | CONFORME |
| 9403 | 12 | T8 | 32 | 3 | 402 | 7,38 | 5,41 | 39,93 | 407,14 | 2,47 | CONFORME |
| 9404 | 12 | T8 | 32 | 3 | 402 | 6,72 | 5,41 | 36,36 | 476,49 | 2,32 | CONFORME |
| 9501 | 12 | T8 | 32 | 3 | 402 | 6,14 | 5,22 | 32,05 | 590,40 | 2,12 | CONFORME |
| 9502 | 12 | T8 | 32 | 3 | 402 | 6,14 | 5,95 | 36,53 | 383,00 | 2,87 | CONFORME |
| 9503 | 12 | T8 | 32 | 3 | 402 | 7,38 | 5,41 | 39,93 | 438,48 | 2,30 | CONFORME |
| 9504 | 12 | T8 | 32 | 3 | 402 | 6,72 | 5,41 | 36,36 | 472,39 | 2,34 | CONFORME |

Tabla 20. Valores de Eficiencia Energética del bloque Ei

| Nº | Nº Lum | Tipo | P Und (W) | P Balasto (W) | P Total (W) | Largo (m) | Ancho (m) | Área (m²) | Eprom (Luxes) | VEEI | ESTADO |
|--------|--------|------|-----------|---------------|-------------|-----------|-----------|-----------|---------------|------|-----------|
| Ei-101 | 8 | T8 | 32 | 3 | 268 | 6,65 | 4,87 | 32,39 | 329,18 | 2,51 | CONFORME |
| Ei-102 | 8 | T8 | 32 | 3 | 268 | 5,83 | 4,87 | 28,39 | 296,73 | 3,18 | NO CUMPLE |
| Ei-103 | 8 | T8 | 32 | 3 | 268 | 5,83 | 4,87 | 28,39 | 282,58 | 3,34 | NO CUMPLE |
| Ei-104 | 8 | T8 | 32 | 3 | 268 | 5,83 | 4,87 | 28,39 | 286,28 | 3,30 | NO CUMPLE |
| Ei-105 | 8 | T8 | 32 | 3 | 268 | 5,83 | 4,87 | 28,39 | 388,42 | 2,43 | CONFORME |
| Ei-106 | 8 | T8 | 32 | 3 | 268 | 5,83 | 4,87 | 28,39 | 286,28 | 3,30 | NO CUMPLE |
| Ei-107 | 12 | T8 | 32 | 3 | 402 | 13,65 | 5,66 | 77,26 | 489,12 | 1,06 | CONFORME |
| Ei-108 | 12 | T8 | 32 | 3 | 402 | 9,94 | 5,51 | 54,77 | 479,85 | 1,53 | CONFORME |
| Ei-109 | 12 | T8 | 32 | 3 | 402 | 13,65 | 5,66 | 77,26 | 546,10 | 0,95 | CONFORME |
| Ei-110 | 8 | T8 | 32 | 3 | 268 | 4,59 | 5,52 | 25,34 | 652,71 | 1,62 | CONFORME |

7. USO DEL PROGRAMA SURFER PARA GRÁFICAR LOS RESULTADOS OBTENIDOS

7.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROGRAMA

Este programa es propiedad de Golden Software, por medio del mismo es posible crear mapas de contorno y mapas en 3D. Debido a su amplio campo de aplicación puede ser empleado para diversidad de áreas como:

- Hidrografía: Mapas de balance hídrico, cálculo del volumen de un cuerpo de agua, estimación del volumen de almacenamiento de una cuenca de agua en caso de construir una represa etc.
- Cartografía: Mapas climáticos, mapas de suelos, cálculo de pérdida de volumen de suelo etc.
- Acústica: Mapas de sonido, mapas de propagación de sonido, evaluación de condiciones acústicas.
- Seguridad Industrial y gestión ambiental: Mapas de niveles de ruido, mapas de emisiones a la atmósfera,
- Electricidad: Mapas de ondas electromagnéticas, mapas de sistemas de puesta a tierra (SPT), mapa de fallas de sistema de potencias etc.

7.2 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LOS COMANDOS DE CADA MENÚ

A continuación se explican y se muestran los comandos principales de cada menú del programa Surfer.

7.2.1 Menú File. La opción File-New se utiliza para abrir una pantalla de edición cartográfica (New Plot), una hoja de cálculo (New Worksheet), o una hoja para edición de texto (New-Editor).

En SURFER, a diferencia de muchos otros programas de tratamiento de información espacial, la opción File-Open no suele ser la vía principal de acceso. File-Open se usa cuando ya se ha hecho una composición

cartográfica, la cual puede incluir una imagen del terreno (Opción Map-Image), así como una imagen de contornos, creada con Map-Contour, y un mapa de carreteras importado como un DXF con la opción Map-Load-Base-Map.

SURFER permite importar y exportar archivos en diversos formatos vectoriales y matriciales (PCX, BMP, JPG, DXF, BNA, BLN). La opción Map-Load-Base-Map hace una importación análoga a la opción File-Import. Los objetos importados pueden editarse por separado con la opción Arrange-Break-Apart, mientras que esto no se puede hacer con los objetos traídos con Map-Load-Base-Map.

Figura 28. Menú File



Fuente Curso SURFER en imágenes. Disponible desde internet:
<http://bscw.rediris.es/pub/bscw.cgi/d652450/Manual%20b%C3%A1sico%20de%20Surfer.pdf> >

7.2.2 Menú Edit. El menú de Edición de SURFER se ofrecen los comandos usuales de revertir la última operación (Edit-Undo), de reejecutar la última operación revertida (Edit-Redo), de copiar en memoria y borrar de la ventana activa un objeto (Edit-Cut), de copiar un objeto en memoria (Edit-Copy), de pegar en la ventana de trabajo un objeto guardado en memoria (Edit-Paste), y de borrar un objeto de la ventana de trabajo (Edit-Delete).

Un objeto borrado con Edit-Cut puede ser traído a la ventana de trabajo en cualquier momento, ya que el reside en memoria (esto siempre que no se haya perdido por hacer una segunda ejecución de Edit-Cut). La opción Select-All es muy importante, debe ser usada cuando se desee hacer una integración de diversas imágenes, por ejemplo mediante el comando Map-Overlay Maps. Edit-

Object ID permite poner un identificador ID a un objeto dibujado con Draw (línea, polígono, texto, etc.). Edit-Reshape permite editar los vértices de una figura vectorial dibujada con Draw.

Figura 29. Menú Edit



Fuente Curso SURFER en imágenes. Disponible desde internet:
<<http://bscw.rediris.es/pub/bscw.cgi/d652450/Manual%20b%C3%A1sico%20de%20Surfer.pdf> >

7.2.3 Menú View. El comando View del menú principal de SURFER es muy utilizado. View-Fit to Window permite ver la imagen entera (Plot) utilizando el tamaño total de la ventana de trabajo. View-Page despliega la ventana de trabajo entera. View- Actual Size despliega la imagen seleccionada al tamaño de la ventana de trabajo. View-Full Screen despliega sólo el dibujo, eliminando temporalmente las barras de menú. Con View-Zoom se cambia a gusto el tamaño y sector desplegado en pantalla. View-Redraw o F5 permiten redibujar las imágenes desplegadas sobre la pantalla. Por defecto, SURFER viene programado con Auto-Redraw, lo que a veces hace lentos los procesos.

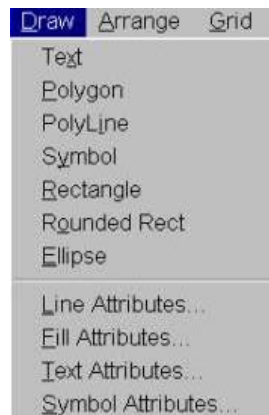
Figura 30. Menú View



Fuente Curso SURFER en imágenes. Disponible desde internet:
<<http://bscw.rediris.es/pub/bscw.cgi/d652450/Manual%20b%C3%A1sico%20de%20Surfer.pdf> >

7.2.4 Menú Draw. Draw se usa para escribir y dibujar texto, polígonos, polilíneas, símbolos, rectángulos, rectángulos con esquinas redondeadas, y elipses. Antes de proceder a hacer sus dibujos se pueden definir los atributos correspondientes: color, tamaño, estilo, relleno, etc., usando las cuatro opciones de abajo (Line-Attributes, etc.).

Figura 31. Menú Draw



Fuente Curso SURFER en imágenes. Disponible desde internet:
<<http://bscw.rediris.es/pub/bscw.cgi/d652450/Manual%20b%C3%A1sico%20de%20Surfer.pdf> >

7.2.5 Menú Arrange. Arrange es el módulo que permite organizar las diversas imágenes desplegadas en la pantalla. En general, SURFER no permite la manipulación de los elementos individuales, sino de las imágenes por entero.

La excepción a esta regla son las figuras y textos dibujados con Draw. Las imágenes con relleno sólido, tal como las creadas con Map-Image o Map-Shaded Relief, ocultan a las imágenes de líneas, como un mapa de curvas de nivel creado con Map-Contour. En tal caso, se debe seleccionar la imagen sólida (un clic con el mouse) y se ejecuta Arrange-Move to Back. Arrange-Combine permite combinar dos imágenes en una sola. Esto puede ser desecho con Arrange-Break Apart. La imagen puede ser rotada con Rotate o Free-Rotate, y dos o más imágenes seleccionadas pueden ser alineadas con Align Objects.

Figura 32. Menú Arrange



Fuente Curso SURFER en imágenes. Disponible desde internet:
<<http://bscw.rediris.es/pub/bscw.cgi/d652450/Manual%20b%C3%A1sico%20de%20Surfer.pdf>>

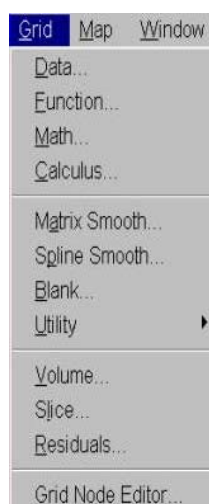
7.2.6 Menú Grid. SURFER es esencialmente un programa para la interpolación y la cartografía en 2D y 3D, en modo RASTER o IMAGEN. La cartografía y análisis se hacen por lo esencial sobre una matriz o retícula, de ahí que el módulo Grid sea uno de los más importantes.

Grid-Data lee un archivo ASCII con formato (X,Y,Z1,Z2, ...Zn) e interpola un archivo imagen (*.GRD), utilizando el algoritmo de interpolación especificado (p.e., Inverso de la Distancia, Regresión Polinomial, Mínima Curvatura, etc.). Funtion permite interpolar una imagen a partir de una función matemática de tipo $Z = f(X,Y)$. Math se usa para operar dos archivos imagen GRD, o un archivo GRD con una constante. Calculus calcula diversas derivadas espaciales de una imagen en formato GRD (p.e. pendiente, orientación de relieve, curvatura, etc.).

Matrix Smooth y Spline Smooth se usan para generalizar una matriz (archivo GRD existente). Blank se usa para "blanquear" los valores de una matriz que se hallen dentro o fuera de las fronteras de una región definida por un archivo BLN. Utility es un grupo de herramientas para convertir entre diversos formatos de una matriz, convertir una matriz en un archivo ASCII, extraer parte de una matriz y hacer inversión de los ejes de una matriz.

Volume efectúa cálculos de volumen entre dos matrices, o entre una matriz y un nivel constante. Slice permite crear un archivo ASCII que puede ser usado para hacer un perfil topográfico. Residuals permite calcular los residuos entre la matriz GRD y los valores ASCII usados para su interpolación. Grid Node Editor permite editar (modificar) el valor Z de cada nodo de la retícula.

Figura 33. Menú Gird



Fuente Curso SURFER en imágenes. Disponible desde internet:
<<http://bscw.rediris.es/pub/bscw.cgi/d652450/Manual%20b%C3%A1sico%20de%20Surfer.pdf> >

7.2.7 Menú Map. Map es el módulo destinado a hacer la cartografía en SURFER. Map-Load Base Map permite importar una imagen (TIF,BMP,PCX,etc.) o un archivo ASCII (BNA,DXF,etc.) y desplegarlo como una imagen de fondo.

Los archivos DXF pueden ser desplegados en 3D, mientras que los generados por Map-Image y Shaded Relief no pueden ser desplegados en 3D. Contour permite crear una imagen de isopletas a partir de un archivo GRD (esto se hace por interpolación). Post se usa para crear un archivo de objetos puntuales (cuadrados, flechas, etc.) Asociado con un archivo ASCII de tipo (X,Y,Z),

generalmente con extensión *.DAT. Classed Post hace una función similar a Post pero se usa cuando el valor Z del archivo *.DAT ha sido clasificado. Esto permite, p.e., crear un archivo de símbolos graduados. Image despliega la matriz GRD como una imagen (el nodo de la matriz es usado como el centro del PIXEL).

Shaded Relief permite crear una imagen sombreada (pseudo tridimensional) del relieve descrito por una matriz GRD. Surface se usa para crear una imagen 2½D o bloque diagrama. Axis se usa para modificar los atributos de los ejes (tipo letra, etc.). Scale Bar se usa para agregar una escala gráfica al mapa seleccionado. Background permite desplegar una trama o un relleno bajo una imagen 2½D. Digitize es utilizado para crear un archivo ASCII (X,Y) punteando la imagen con el mouse. 3D View permite manipular la rotación en X,Y,Z de un archivo imagen GRD. Scale cambia la escala del mapa seleccionado. Limits permite cambiar los límites del mapa seleccionado. Stack Maps alinea dos o más mapas seleccionados, el uno directamente encima del otro. Overlay Maps permite sobreponer diversos mapas seleccionados (Se debe usar Edit-Select All). Se usa esta opción si se desea sobreponer un mapa creado con Contour a uno del mismo sitio, creado con Surface. Edit Overlays se usa para editar y modificar por separado cada uno de los mapas combinados con Overlay.

Figura 34. Menú Map



Fuente Curso SURFER en imágenes. Disponible desde internet:
<<http://bscw.rediris.es/pub/bscw.cgi/d652450/Manual%20b%C3%A1sico%20de%20Surfer.pdf> >

7.3 SELECCIÓN DEL ALGORITMO DE INTERPOLACIÓN

En la selección del algoritmo de interpolación a emplear para las gráficas se requirió estudiar todos los disponibles de manera detallada. Para empezar, algunos algoritmos como la “Media Móvil” se descartaron debido a que este es empleado en procesos de suavizamiento de tendencias y los datos a analizar suelen ser extremos y volátiles, en los datos recogidos en este proyecto no existe un comportamiento de este tipo, ya que en el caso más extremo el dato de menor valor corresponde al 30 % del de mayor valor. Otros algoritmos como “Distancia Inversa Ponderada” y “Función de Base Radial” se descartaron porque estos se emplean para el análisis de datos que incrementan o decrecen en entorno a un punto, lo cual no ocurre en este caso; lo anterior puede ser resultado de la presencia de más de una fuente de iluminación artificial en un mismo recinto. En el caso de algoritmos como la “Distancia mínima” o “Vecino natural” es importante que los datos tengan cierto nivel de homogeneidad, lo cual no sucede en todos los casos de los grupos de datos del presente trabajo pues algunas condiciones como presencia de luminarias dañadas hacen que exista un rango mayor de cambio, en inicio se pensó en implementar uno de estos dos algoritmos con base a que se pensó que los datos tendrían una baja razón de cambio, pero luego de la recolección de los mismos fue necesario realizar un nuevo planteamiento. Por otro lado el algoritmo de interpolación “TIN” tienen su campo de aplicación muy restringido al estudio de modelos de elevación por la naturaleza en la cual trabajan y el modelo de triángulos que emplea.

Para graficar los niveles de iluminancias encontrados se empleó el algoritmo de interpolación Kriging, aunque su uso generalmente se da en estudios geoestadísticos, las características del mismo permiten que sea empleado para estudios como este y su uso en otras ciencias se extiende gradualmente.

El método de interpolación Kriging se basa en los siguientes supuestos:

Los datos muestran un patrón de variabilidad espacial que puede definirse a través de²⁵:

- a. Un componente estructural asociado a un promedio constante o a una tendencia constante.
- b. Un componente aleatorio con cierto grado de asociación espacial.

²⁵ FALLA, Jorge. Op. Cit., p.14

- c. Un componente de error o variabilidad no explicada asociada a errores en las mediciones y a micro variaciones en la superficie no detectadas por el modelo.

Para este caso el componente estructural asociado a un promedio o tendencia constante (literal a), es el nivel de iluminancia esperado en las aulas, parámetro estipulado por el RETILAP, el cual a su vez está en función de las características propias de las distintas luminarias. Cada uno de estos elementos posee unas condiciones de funcionamiento definidas, así como unos valores estipulados para sus características, entre ellos están el flujo luminoso y la iluminancia, las cuales para este caso definen el promedio o la tendencia de la medida de iluminancia.

El componente aleatorio con cierto grado de asociación (literal b), está en función de la posibilidad de falla de una de las luminarias del salón, ya sea por depreciación del flujo luminoso o por daño total en la misma. Esto se ve reflejado en aquellos casos en los cuales existe un rango de diferencia amplio entre los valores de los datos para un mismo punto.

En cuanto al componente de error o variabilidad (literal c), se puede afirmar que en este caso las micro variaciones en la superficie no se detectan debido a que se aseguró que las condiciones de la superficie estudiada estuviesen lo mas homogéneas posibles. Para ello, se eliminó el ingreso de cualquier tipo de luz externa, lo cual hace que las medidas presenten errores asociados solo al funcionamiento del conjunto de luminarias o al ángulo de posición del sensor del luxómetro, aunque se asume que los pupitres son idénticos, el ángulo que forma el brazo de estos con respecto a la normal puede presentar pequeñas variaciones que se verían representadas como errores en las mediciones.

7.4 GRÁFICAS DE ILUMINANCIA EMPLEANDO EL PROGRAMA SURFER

Las gráficas obtenidas a partir del procesamiento de los datos recolectados aplicando el algoritmo de interpolación Kriging a través del programa Surfer se encuentran anexas al presente trabajo (Ver anexo 7-96)

8. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN DE LAS AULAS

8.1 TIPOS DE LUMINARIAS EMPLEADAS EN EL SISTEMA DE ILUMINACIÓN.

El sistema de iluminación cuenta con las siguientes fuentes de luminarias:

- Fluorescente compacta C-12 de 32W.
- Fluorescente T-12 de 39W
- Fluorescente T-8 de 32 W
- Fluorescente T-8 de 32 W empotrada en cielorraso con rejillas.

8.2 CENSO DE CARGA

El sistema de iluminación de las 93 aulas de servicio general de la Universidad de la costa posee una potencia instalada de 32.036 KW, los cuales son detallados en la tabla 21.

Tabla 21. Censo de carga de las aulas de la Universidad de la Costa

| BLOQUE | PISO | P TOTAL PISO (W) | Nº SALONES | P TOTAL BLOQUE (W) |
|--------|------|------------------|------------|--------------------|
| 2 | 4 | 946 | 4 | 946 |
| 3 | 2 | 1474 | 16 | 4422 |
| | 3 | 1608 | | |
| | 4 | 1340 | | |
| 5 | 2 | 3096 | 20 | 7396 |
| | 3 | 4300 | | |
| 7 | 2 | 952 | 16 | 3728 |
| | 3 | 912 | | |
| | 4 | 912 | | |
| | 5 | 952 | | |
| 8 | 2 | 1608 | 12 | 6432 |
| | 3 | 1608 | | |
| | 4 | 1608 | | |
| | 5 | 1608 | | |
| 9 | 2 | 1206 | 15 | 6030 |
| | 3 | 1608 | | |
| | 4 | 1608 | | |
| | 5 | 1608 | | |
| E | 1 | 3082 | 10 | 3082 |
| TOTAL | | | | 32036 |

9. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

9.1 ANÁLISIS DE NIVELES DE ILUMINANCIA PROMEDIO

Luego de realizar la evaluación de la iluminancia promedio en cada una de las aulas de clases se pudo determinar que 21 de las 91 aulas evaluadas no cumplen con el nivel mínimo de iluminancia promedio, lo cual corresponde al 23.08% de total de la muestra (Ver tablas 3 y 4).

Solo 11 del total de salones evaluados cuentan con un nivel de iluminancia superior al nivel medio, que para este caso corresponde a 500 Luxes, es decir el 12.08% de la muestra estudiada (Ver tabla 22). Lo cual se puede interpretar como una advertencia de próximos incumplimientos de los niveles mínimos en algunos salones. Ninguno de los salones cuenta con una nivel de iluminancia superior al máximo estipulado de 750 Luxes.

Tabla 22. Salones con niveles de iluminación superior al nivel medio

| Salón | Eprom |
|--------|--------|
| 3407 | 518,95 |
| 5202 | 538,13 |
| 5203 | 544,52 |
| 5303 | 625,18 |
| 7403 | 502,35 |
| 9201 | 575,63 |
| 9301 | 600,39 |
| 9401 | 591,49 |
| 9501 | 590,40 |
| Ei-109 | 546,10 |
| Ei-110 | 652,71 |

En el bloque Ei se deberían encontrar los mejores niveles de iluminancia promedio, debido a que este bloque se construyó hace menos de dos años, por ende su sistema de iluminación es el más reciente. El RETILAP recomienda que los valores de iluminancia para realizar el diseño del sistema de iluminación sean los valores máximos permitidos, con el fin de garantizar la mantenibilidad de los niveles de iluminación, esto acompañado de unos ciclos de mantenimiento, la frecuencia de ensuciamiento y de la correcta selección de

la fuente de iluminación²⁶. Este bloque cuenta además con 4 salones que incumplen los niveles mínimos de iluminancia. Lo anterior puede estar asociado a un proceso de diseño con falencias.

El bloque 7 presenta 11 salones con incumplimiento de los niveles mínimos, con casos que están incluso por debajo del 50% del nivel mínimo de 300 Luxes, como los salones 7404 y 7201 (Ver tabla 23).

Tabla 23. Salones del bloque 7 con incumplimiento de los niveles mínimos de iluminancia

| Salón | Eprom |
|-------|--------|
| 7201 | 141,92 |
| 7202 | 180,55 |
| 7204 | 231,19 |
| 7301 | 255,00 |
| 7302 | 261,99 |
| 7303 | 241,85 |
| 7304 | 151,70 |
| 7401 | 213,82 |
| 7402 | 213,29 |
| 7404 | 108,78 |
| 7502 | 279,11 |

En bloques como el 8 y el 9 no se encontró ninguna inconformidad en cuanto a los niveles de iluminancia.

9.2 ANÁLISIS DEL VALOR DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LAS INSTALACIONES DE ILUMINACIÓN

El valor de la Eficiencia Energética en las Instalaciones de Iluminación permite establecer una medida que relacione la cantidad de energía invertida y la iluminación obtenida a partir de dicha potencia. Para el caso de las aulas estudiadas, el valor límite de este parámetro debe ser 4. En la tabla 24 se pueden observar los 5 salones que no cumplen con este parámetro.

²⁶ COLOMBIA, MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Op. Cit. p 20.

Tabla 24. Salones con incumplimiento del valor límite de VEEI

| SALON | Eprom | VEEI | ESTADO |
|---------|--------|------|-----------|
| 2410 | 297,20 | 4,26 | NO CUMPLE |
| 5305 | 426,57 | 4,00 | NO CUMPLE |
| 5307 | 213,50 | 5,74 | NO CUMPLE |
| 5308 | 216,22 | 4,69 | NO CUMPLE |
| 7404 | 108,78 | 4,73 | NO CUMPLE |
| 3207 | 204,87 | 3,30 | NO CUMPLE |
| 3410 | 279,88 | 3,05 | NO CUMPLE |
| 5208 | 287,53 | 3,53 | NO CUMPLE |
| 7201 | 141,92 | 3,75 | NO CUMPLE |
| 7202* | 180,55 | 2,93 | NO CUMPLE |
| 7204* | 231,19 | 2,62 | NO CUMPLE |
| 7301* | 255,00 | 2,09 | NO CUMPLE |
| 7302* | 261,99 | 2,02 | NO CUMPLE |
| 7303* | 241,85 | 2,24 | NO CUMPLE |
| 7304* | 151,70 | 3,39 | NO CUMPLE |
| 7401* | 213,82 | 2,49 | NO CUMPLE |
| 7402* | 213,29 | 2,48 | NO CUMPLE |
| 7502* | 279,11 | 1,89 | NO CUMPLE |
| Ei-102* | 296,73 | 3,18 | NO CUMPLE |
| Ei-103* | 282,58 | 3,34 | NO CUMPLE |
| Ei-104* | 286,28 | 3,30 | NO CUMPLE |
| Ei-106* | 286,28 | 3,30 | NO CUMPLE |

**En estos casos hay incumplimiento del valor de VEEI debido a que no cumplían con los niveles mínimos de iluminancia.*

En este caso el bloque 5 presenta mayor número de incumplimientos con un total de 6 salones con VEEI superior a 3. En la tabla 25 se ilustra el porcentaje de cumplimiento e incumplimiento de este parámetro.

Tabla 25. Porcentaje de cumplimiento del VEEI en las aulas

| Descripción | Porcentaje |
|--|------------|
| Porcentaje de salones que NO CUMPLEN el valor límite de eficiencia energética. | 24.17% |
| Porcentaje de salones CONFORMES con el valor límite de eficiencia energética. | 75.82% |

Aunque se pensaría que el cumplimiento de este parámetro garantizaría que la instalación estudiada es completamente eficiente, esto no es totalmente cierto. En algunos casos en VEEI puede estar por debajo del valor límite, pero la iluminancia promedio no es alcanzada, en la tabla 26 se muestran estos casos.

Tabla 26. Casos de cumplimiento de VEEI e incumplimiento de iluminancia promedio

| SALON | Eprom | VEEI |
|-------|--------|------|
| 7202 | 180,55 | 2,93 |
| 7204 | 231,19 | 2,62 |
| 7301 | 255,00 | 2,09 |
| 7302 | 261,99 | 2,02 |
| 7303 | 241,85 | 2,24 |
| 7401 | 213,82 | 2,49 |
| 7402 | 213,29 | 2,48 |
| 7502 | 279,11 | 1,89 |

El RETILAP no especifica que solo los casos que cumplan con la iluminancia mínima deberán ser evaluados, por ello en este estudio se procedió a realizar el cálculo de este factor para todas las aulas estudiadas. Para el caso de valores de VEEI inferiores a 4, pero sin con incumplimiento del nivel mínimo de iluminancia de 300 Luxes, se determinó que no podían ser considerados como eficientes.

9.3 ESTADO DE LAS LUMINARIAS

La investigación permitió identificar condiciones inseguras en varias de las aulas de la Universidad de la Costa, la figura 35 muestra una luminaria de clase T-12, cuya bandeja de soporte se encuentra mal fijada y representa un riesgo potencial para los usuarios de este espacio. Está además presenta oxidación en gran parte de su superficie.

Figura 35. Lámpara T-12 con bandeja mal fijada al cielo raso, salón 2412.



Se encontraron además lámparas de tipos C-12 en condiciones similares, las cuales están instaladas en el bloque 7, como la mostrada en la figura 36.

Figura 36. Lámpara C-12 en con soporte mal fijado al cielo raso, salón 7301



Actualmente existen lámparas con bandejas o soportes mal fijados al cielo raso en los varios de los salones del tercer piso del bloque 5; en el segundo, tercero, cuarto y quinto piso del bloque 7 y en los salones 2412 y 2411 del bloque 2. Así mismo, gran parte de las lámparas del tercer piso del bloque 5 y de los salones del bloque 2 presentan oxidación en las bandejas.

Otro problema que se identificó en el estado de luminarias, es el daño que existe en algunas de ellas.

Figura 37. Luminaria dañada, salón 8302



En los salones del bloque 7 se presenta este problema en al menos 2 luminarias por piso, así mismo hay luminarias dañadas en los salones 2412, 8302, 8401 y 8501 presentan este problema.

No se encontró evidencias que demostrará la existencia de un plan de mantenimiento para las luminarias. Además de ello, las luminarias no se encuentran aterrizadas.

9.3.1 Desequilibrio en la distribución de luminarias. Se encontró desequilibrio en la distribución de las luminarias del salón 2412, como se muestra en la figura 38, no existe un criterio claro en la forma como se realizó el diseño de distribución de la luminaria de esta aula.

Figura 38. Desequilibrio en la distribución de la luminaria, salón 2412



9.4 OTROS ASPECTOS

Existe en el sistema de iluminación la presencia de lámparas de baja eficiencia, presentes mayoritariamente en los bloques 2, 5 y 7. Estas lámparas generan un mayor consumo de energía eléctrica y producen una menor iluminancia, sus estructuras están en mal estado, ya sea por presencia de óxido o por la falta de una fijación segura en el cielo raso, así mismo, la gran mayoría de estos equipos no están aterrizados.

Además de ello, no existe un plan de mantenimiento claramente definido para el sistema de iluminación en general, ni se lleva un control completo que permita establecer el ciclo de falla de los elementos que lo conforman y con base a ello realizar un seguimiento que conlleve a la optimización del mismo.

En cuanto a la cultura de ahorro energético, los estudiantes de Universidad de la Costa en general no se encuentran sensibilizados en cuanto al uso adecuado y racional de la energía. No hay una cultura de pertenencia en la mayoría de estos, que incentive el apagar las luces cuando no se estén empleando o se terminen de usar.

En cuanto a la utilización de la luz natural, algunos salones están provistos de ventanales que proveen este tipo de luz, sin embargo en algunas horas del día,

esto resulta molesto para los alumnos que deben sentarse cerca de las mismas. Salones como los del bloque Ei, no fueron diseñados con este tipo de ventaja, pues poseen ventanales pequeños y en los cuales no ingresa gran cantidad de luz natural.

10. PRESUPUESTO

El presupuesto para realización de este proyecto se muestra en el cuadro 6

Cuadro 6. Presupuesto para la realización del proyecto

| PRESUPUESTO PROYECTO | | | | | | |
|---|--|----------------|-----------------|-----------------|------------------|------------------|
| | | | | | | |
| 1. Mano de obra del personal a trabajar | | | | | | |
| Ítem | Descripción personal | Nº de personas | Horas semanales | Nº de semanas | Precio por hora | Monto total |
| 1.1 | Ing. Residente | 3 | 20 | 24 | \$ 15.000,00 | \$ 21.600.000,00 |
| 1.2 | Ing. Director | 1 | 2 | 24 | \$ 35.000,00 | \$ 1.680.000,00 |
| | | | | | | |
| Subtotal mano de obra | | | | | \$ 23.280.000,00 | |
| 2. Equipos y materiales | | | | | | |
| 2.1 Compra de equipos y mano de obra de terceros | | | | | | |
| Ítem | Descripción | Nº equipos | Precio sin IVA | Precio total | Gastos de envío | Monto total |
| 2.1.1 | Compra de equipo Luxómetro | 1 | \$ 520.000,00 | \$ 620.000,00 | \$ 25.000,00 | \$ 1.165.000,00 |
| | | | | | | |
| Subtotal compra de equipos y mano de obra de terceros | | | | | \$ 1.165.000,00 | |
| | | | | | | |
| 2.2 Materiales requeridos | | | | | | |
| Ítem | Descripción | Unidad | Cantidad | Precio unitario | Monto total | |
| 2.2.1 | Computador portátil | Und | 3 | \$ 1.500.000,00 | \$ 4.500.000,00 | |
| 2.2.2 | Cámara fotográfica | Und | 1 | \$ 250.000,00 | \$ 250.000,00 | |
| 2.2.3 | Papelería | | 3 | \$ 80.000,00 | \$ 240.000,00 | |
| | | | | | | |
| Subtotal materiales requeridos | | | | | \$ 4.750.000,00 | |
| 3. Otros | | | | | | |
| Ítem | Descripción | Unidad | Cantidad | Precio unitario | Monto total | |
| 3.1 | Viáticos y transportes durante el tiempo de realización del proyecto | Glb | | 3 | \$ 450.000,00 | \$ 1.350.000,00 |
| | | | | | | |
| Subtotal otros | | | | | \$ 1.350.000,00 | |
| Subtotal presupuesto de proyecto: | | | | | \$ 30.545.000,00 | |
| Administración (5%): | | | | | \$ 1.527.250,00 | |
| Imprevistos (5%): | | | | | \$ 1.527.250,00 | |
| Utilidad (5%): | | | | | \$ 1.527.250,00 | |
| IVA sobre utilidad (16%): | | | | | \$ 244.360,00 | |
| TOTAL PRESUPUESTO: | | | | | \$ 35.371.110,00 | |

11. CRONOGRAMA

El presente cronograma (Ver cuadro 7) se diseñó para dar ejecución al proyecto.

Cuadro 7. Cronograma del proyecto

| ACTIVIDADES | | S1 | S2 | S3 | S4 | S5 | S6 | S7 | S8 | S9 | S10 | S11 | S12 | S13 | S14 | S15 | S16 | S17 | S18 | S19 | S20 | S21 | S22 | S23 | S24 |
|-------------|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| OBJETIVO 1 | Obtener los permisos necesarios para tener acceso a los planos de la planta física de la institución. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Conseguir la autorización para el uso del luxómetro. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Levantamiento de planos de las aulas. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Diseñar los formatos de recolección de información para medidas de iluminación. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Medir los niveles de iluminación de los salones con ayuda del luxómetro. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Digital y organizar de los valores obtenidos de niveles de iluminación en el programa Excel. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Realizar el censo de carga del sistema de iluminación de los salones. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

[illegible]

[illegible]

12.CONCLUSIONES

Tras desarrollar este proyecto de investigación, se puede concluir lo siguiente:

- El sistema de iluminación de las aulas de la Universidad de la Costa se compone de diversos tipos de luminarias, los cuales abarcan desde diseños con luminarias de alta eficiencia como las T-8 hasta modelos de poca eficiencia como las C-12. Lo anterior no solo repercute en la eficiencia energética de las aulas, sino en la estética de las mismas.
- La Universidad de la Costa no cuenta con un plan de mantenimiento definido por medio del cual se asegure la óptima operación de este sistema.
- No existe por parte de los estudiantes una cultura de ahorro energético, ni de compromiso con el adecuado uso de la energía, aunque esto no es eje principal del presente estudio, a través del mismo fue posible identificar esta condición de indiferencia por parte de la población estudiantil, la cual se manifiesta con la poca preocupación de ellos a dejar las luces encendidas o artefactos como los aires acondicionados.
- El sistema de iluminación de las aulas de la Universidad de Costa no cumple con todos los requisitos estipulados por el RETILAP. Esto se ve claramente evidenciado en primer lugar por el incumplimiento de los niveles de iluminancia mínimos en 21 de las aulas evaluadas. Para continuar se debe mencionar que muchas de las luminarias empleadas en el mismo son de baja eficiencia y por último, se presentan casos en los cuales los límites del Valor de la Eficiencia Energética son superados.
- Existen salones en los cuales la posición de los abanicos no es adecuada, debido que este se encuentra debajo de una luminaria.
- A través del estudio se identificaron varios salones con una o más luminarias dañadas.
- El bloque 7 presenta actualmente el nivel más crítico en lo referente a incumplimiento de los niveles mínimos de iluminancia.
- No fue posible obtener los planos arquitectónicos para este estudio, aún cuando ellos se solicitaron a través de la MSc. Julieta Daza Montero solo pudo obtenerse una vista área de las instalaciones, esto puede ser señal de la inexistencia de los mismos.

- Actualmente la Universidad de la Costa no puede asegurar las condiciones de confort en la totalidad de las aulas de clases de servicio general.
- Hay presencia de desequilibrio en la distribución de las luminarias en uno de los salones evaluados.
- Se hace necesario que más proyectos de este tipo aplicados a la planta física de la Universidad la Costa se realicen, ya que permiten identificar falencias en su infraestructura y plantear posibles soluciones a los mismos.
- Los salones del bloque Ei no poseen ventanales que permitan el ingreso de luz natural.
- Existen soportes de luminarias en mal estado que pueden generar accidentes por su desprendimiento desde el cielo raso.
- El tipo de fuente luminosa presente en el sistema de iluminación de la Universidad de la Costa es fluorescente.

13.RECOMENDACIONES

Luego de realizar el diagnóstico del sistema de iluminación de la Universidad de la Costa se pueden realizar las siguientes recomendaciones:

- Es necesario corregir el desequilibrio en la distribución de luminarias del salón 2412, los soportes de la luminaria se encuentran oxidados y no están completamente fijados al cieloraso lo cual podría ocasionar un accidente en cualquier momento. Se recomienda además que las nuevas luminarias elegidas sean de mejor eficiencia, preferiblemente de tipo T-8.
- Se recomienda que las luminarias tipo C-12 de los salones del bloque 7 sean sustituidas por otro tipo de luminarias, pueden ser fluorescente, pero de mejor eficiencia y con un mayor flujo luminoso, debido a que este bloque presenta el número más alto de salones con incumplimiento de niveles mínimos de iluminancia en toda la infraestructura de la Universidad de la Costa y de estos, solo uno emplea un tipo de luminaria diferente a la C-12. Además de lo anterior, varias de este tipo de lámparas se encuentran mal fijadas al cieloraso.
- Actualmente no existe evidencia de un plan de mantenimiento para el sistema de iluminación, por ello se demanda realizar uno en el cual se especifique la frecuencia de limpieza del mismo y la reposición de las lámparas con frecuencia de reemplazo.
- El bloque 5 cuenta en su tercer piso con la presencia de luminarias con soportes oxidados que deben ser reemplazados. Se recomienda además que las luminarias actuales sean removidas por otro tipo de mayor eficiencia.
- En próximos estudios, sería importante realizar un censo de consumo del sistema de iluminación con la ayuda de un equipo analizador de redes, esto a fin de poder obtener una mejor visión del consumo de energía por parte de este sistema y así conocer el impacto que tiene sobre el consumo total de energía.
- Es importante realizar una campaña de sensibilización hacia la población estudiantil para estimular el uso adecuado de las luminarias, buscando con ello evitar el consumo innecesario de energía eléctrica.

- Se recomienda realizar un estudio a través del cual se pueda conocer la disponibilidad de luz natural en las aulas de la institución en horas del día y diferentes fechas del año. Lo anterior a fin de establecer los horarios en los cuales pueda prescindirse del uso de las fuentes artificiales de luz, de ser posible.
- En los salones en los cuales se incumplen los niveles de iluminancia, es necesario que el procedimiento de diseño sea revaluado, con el fin de identificar errores ya sea en la selección del tipo de luminaria, la cantidad a emplear de esta, la cantidad de flujo luminoso o la iluminancia que se estipuló como requerida.

BIBLIOGRAFÍA

COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPÚBLICA. Ley 30 (28, diciembre, 1992). Por la cual se organiza el servicio público de la educación superior. Diario Oficial. Bogotá D.C., N°. 40700. p 1-2.

COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPÚBLICA. Ley 143 (11, julio, 1994). Por la cual se establece el régimen para la generación, interconexión, transmisión distribución y comercialización de electricidad en el territorio nacional, se conceden unas autorizaciones y dictan otras disposiciones en materia energética. Diario Oficial. Bogotá D.C., N°. 41434. p.26.

----- Ley 697 (3, octubre, 2001). Mediante la cual se fomenta el uso racional y eficiente de la energía, se promueve la utilización de energías alternativas y se dictan otras disposiciones. Diario Oficial. Bogotá D.C., N° 44.573. p.1.

COLOMBIA, CONSEJO NACIONAL DE ACREDITACIÓN. Conozca el CNA, Sistema Nacional de Acreditación en Colombia [en línea]. Bogotá D.C. (Colombia). Disponible desde internet: <<http://www.cna.gov.co/1741/article-186365.html>>.

COLOMBIA. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Decreto 180540 (30, Marzo, 2010). Por la cual se modifica el Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público- RETILAP. Se establecen los requisitos de eficacia mínima y vida útil de las fuentes lumínicas y se dictan otras disposiciones. Bogotá D.C.: El ministerio, 2010. Anexo general.

COLOMBIA. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Decreto número 3450 (12, septiembre, 2008). Por el cual se dictan medidas tendientes al uso racional y eficiente de la energía eléctrica. Bogotá D.C.: El ministerio, 2008. 2 p.

Curso SURFER en imágenes. Disponible desde internet: <<http://bscw.rediris.es/pub/bscw.cgi/d652450/Manual%20b%C3%A1sico%20de%20Surfer.pdf>>

FALLA, Jorge. Modelo de elevación digital para las hojas cartográficas tilaràn Y juntas escala 1:50.000 del instituto geográfico nacional, Costa Rica [PDF]. San José (Costa Rica). Marzo, 2003. Disponible desde internet: <http://www.mapealo.com/Costaricageodigital/Documentos/alfabetizacion/MED_TILARAN_JUNTAS.pdf>

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS. Normas Colombianas para las referencias bibliográficas. Contenido, forma y estructura. Primera edición. Santafé de Bogotá D.C.: ICONTEC 2008. p. 1-38. NTC 5613.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS. Normas Colombianas para las referencias documentales para fuentes de información electrónicas. Primera edición. Santafé de Bogotá D.C.: ICONTEC 1998. p. 1-27. NTC 4490.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS. Normas Colombianas para la presentación de tesis, trabajos de grado y otros trabajos de investigación. Sexta actualización. Santafé de Bogotá D.C.:ICONTEC 2008. p. 1-41. NTC 1486.

MOREANO, José. Sistema de información para la interpolación espacial y temporal de datos sobre el tiempo atmosférico y el clima del Ecuador [PDF]. Quito (Ecuador). Julio, 2008. Disponible desde internet: <[http://eelalnx01.epn.edu.ec/bitstream/15000/719/1/CD-1664\(2008-09-15-10-33-24\).pdf](http://eelalnx01.epn.edu.ec/bitstream/15000/719/1/CD-1664(2008-09-15-10-33-24).pdf)>

LEAÑO, Juan. PONCE, Edgard. Manual del SURFER versión 4.0 al 7.0 [PDF]. Cochabamba (Bolivia). Disponible en internet desde: <http://www.google.com.co/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=5&cad=rja&sqi=2&ved=0CDQQFjAE&url=http%3A%2F%2Fwww.ittorolac.org%2Fproyectos%2Fproyectos-completos%2Fbolivia%2Fpd-063-97-rev-3-f%2Fproductos%2Fcursos-y-modulos%2Fmanual-de-surfer%2Fdownload&ei=_hhjUMGvBYms9ASX_ICQCw&usg=AFQjCNG6Sj0qkqw6uWNvMbZZrO_snEkPXg&sig2=Kk7ZWk4YgA3lnNVu0w9HZA>

PATTINI, Andrea. Jornada Técnica Arquitectura & Confort humano: Parámetros objetivos y subjetivos. Sine Loco. Jornada Técnica Tecnalia & CONICET [PDF]. Disponible desde internet: <<ftp://ftp.cricyt.edu.ar/pub/apattini/conferencia%20A%20Pattini%20d%C3%ADa%206/CONFORT%20VISUAL%20AULAS%20Y%20OFICINAS.pdf>>

UNIVERSIDAD DE LA COSTA. Presentación de la universidad [en línea], 2011. Disponible desde internet: <http://www.cuc.edu.co/index.php?option=com_flexicontent&view=items&cid=38&id=63&Itemid=89>

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL. Manual de Iluminación Eficiente [Documento PDF]. [Buenos Aires, Argentina]. Editorial EDUTECNE, 2006. Capítulo IV. Fuentes de iluminación. Disponible desde internet: <<http://www.edutecne.utn.edu.ar/eli-iluminacion/cap04.pdf>>.

ÍNDICE

Acreditación, 19, 24, 26, 27, 28, 114
Ahorro energético 60, 104, 110
Ambiente sano, 65
Anomalía 19, 25, 27, 29, 31, 59
Censo de carga, 24, 25, 59, 67, 68, 69, 97, 107
Certificado de calibración, 64
Clasificación de una fuente luminosa, 34
Confort visual, 19, 26, 27, 28, 29, 47, 52, 108
Consejo Nacional de Acreditación 19, 28
Corrección de color, 64, 75
Deslumbramiento, 19, 25, 29, 46, 47, 108
Diagnóstico del sistema de iluminación, 25, 30, 31, 59, 112
Fotometría, 20, 26
Fuente luminosa, 20, 26, 31, 32, 34, 102, 111
Iluminancia promedio, 59, 66, 67, 68, 70, 71, 72, 76, 81, 98, 101
Índice de reproducción cromática, 32, 33, 48
Índice de rendimiento de color, 32, 41, 44, 48
Inspección de las condiciones del sistema de iluminación, 59
Kriging, 24, 58, 59, 68, 95, 96
Luxómetro, 22, 25, 27, 64, 67, 74, 75, 96, 106, 107
Luz natural, 23, 28, 60, 64, 104, 105, 110, 113
Mapa de contorno, 21, 23
Medición de iluminancia promedio, 59, 67, 70, 80, 81
Mediciones fotométricas, 59
Niveles de iluminancia, 23, 28, 46, 49, 50, 59, 67, 68, 70, 76
Niveles mínimos de iluminancia, 22, 60, 99, 100, 110, 111, 112
Surfer, 22, 52, 59, 69, 88-96, 108
Tarea visual, 22, 47
Uso Racional de la Energía, 22, 23, 28, 31, 60, 109
Valor de Eficiencia Energética de la Instalación (VEEI), 50, 59, 64, 66, 81

ANEXO 1. Medidas de iluminancia bloque 3

| Nº | r-1 | r-2 | r-3 | r-4 | r-5 | r-6 | r-7 | r-8 | q-1 | q-2 | q-3 | q-4 | t-1 | t-2 | t-3 | t-4 | p-1 | p-2 |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 3212 | 465,9 | 468,7 | 469 | 477 | 399,4 | 401,7 | 400,5 | 410,4 | 369,7 | 367,1 | 406 | 410,8 | 483,2 | 481 | 10 | 5 | 380,7 | 390,2 |
| 3201 | 523,2 | 525,9 | 524,3 | 524,8 | 480,1 | 481,9 | 482,2 | 481,7 | 405,9 | 405,7 | 406,6 | 405,1 | 366,3 | 366,1 | 354,4 | 352,8 | 387,4 | 391,7 |
| 3202 | 539,7 | 541,2 | 540,7 | 540,8 | 364,1 | 365,9 | 365,1 | 365,2 | 473,7 | 475,4 | 475,2 | 477 | 523,4 | 521,1 | 514,8 | 517,1 | 329,4 | 334,8 |
| 3206 | 377,2 | 379,4 | 378,2 | 378 | 366,9 | 370,9 | 369,1 | 367 | 260,7 | 258,9 | 257,4 | 258,9 | 399,1 | 398,8 | 380,7 | 379,1 | 368 | 353 |
| 3207 | 196,2 | 198,1 | 197,6 | 198,4 | 154,1 | 154,9 | 155,1 | 154,7 | 138,8 | 140,1 | 273,9 | 274,2 | 256,1 | 257,6 | 232,5 | 235,3 | 247,5 | 242,3 |
| 3301 | 607,1 | 610,8 | 609,1 | 611,9 | 420,1 | 422,8 | 423,9 | 424,5 | 487,6 | 489,2 | 491,3 | 515,5 | 416,2 | 412,3 | 418,7 | 420,3 | 411,2 | 409,2 |
| 3302 | 489,4 | 496,1 | 495,2 | 497,8 | 481,5 | 487,5 | 486,6 | 490,1 | 390,5 | 391,5 | 475,8 | 478,6 | 452,1 | 456,4 | 460,1 | 461,2 | 342,1 | 362,2 |
| 3303 | 517,5 | 522,5 | 520,1 | 525,3 | 442,9 | 449,1 | 451,2 | 457,9 | 437,2 | 441,1 | 442,4 | 445,2 | 409,1 | 414,8 | 401,1 | 407,1 | 399,3 | 376,2 |
| 3304 | 530,1 | 534,6 | 532,1 | 539,2 | 450,1 | 456,8 | 459,4 | 465,9 | 447,2 | 452,9 | 447,8 | 456,4 | 427,2 | 431,4 | 407,8 | 415,6 | 377,6 | 381,4 |
| 3305 | 541,3 | 547,2 | 549,2 | 552,6 | 548,6 | 552,7 | 551,9 | 553,1 | 484,9 | 460,8 | 469,1 | 450,6 | 455,2 | 360,5 | 369,4 | 374,9 | 378,1 | 359,2 |
| 3306 | 459,8 | 464,1 | 461,8 | 469,4 | 459,2 | 464,6 | 465,2 | 468,1 | 425,6 | 429,1 | 430,1 | 431,8 | 374 | 375,2 | 372,8 | 371,9 | 361 | 369,5 |
| 3407 | 572,6 | 576,5 | 579,5 | 581,7 | 550,1 | 552,9 | 555,4 | 558,5 | 537,2 | 541,5 | 539,1 | 542,1 | 442,6 | 434,9 | 420,5 | 421,6 | 398,5 | 409,6 |
| 3408 | 527,4 | 529,5 | 531,1 | 532,3 | 552,9 | 554,2 | 558,4 | 560,1 | 425,4 | 429,5 | 491,6 | 499,1 | 412,7 | 415,9 | 439,4 | 442,4 | 390,8 | 398,5 |
| 3409 | 519,7 | 520,9 | 521,3 | 525,4 | 467,2 | 471,5 | 470,1 | 471,9 | 457,2 | 462,8 | 458,3 | 421,6 | 369,2 | 365,7 | 354,7 | 352,1 | 310,4 | 316,4 |
| 3410 | 251,7 | 357,3 | 356,4 | 367,1 | 318,3 | 324,8 | 325,7 | 329,2 | 315,4 | 311,8 | 293,4 | 289,3 | 219,4 | 221,4 | 213,8 | 211,9 | 135,9 | 121,2 |
| 3411 | 471,9 | 472,6 | 477,2 | 480,2 | 456,2 | 460,1 | 461,7 | 464,7 | 421,7 | 419 | 382,4 | 388,5 | 371,4 | 375,7 | 372,4 | 379,4 | 364,1 | 361,2 |

ANEXO 2. Medidas de iluminancia bloque 5

| Nº | r-1 | r-2 | r-3 | r-4 | r-5 | r-6 | r-7 | r-8 | q-1 | q-2 | q-3 | q-4 | t-1 | t-2 | t-3 | t-4 | p-1 | p-2 |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 5201 | 540,2 | 547,6 | 549,5 | 553,1 | 471,8 | 478,9 | 479,1 | 485,2 | 462,1 | 467,4 | 440,1 | 442,9 | 420,1 | 419,8 | 429,2 | 434,3 | 368,7 | 376,5 |
| 5202 | 588,2 | 597,9 | 598,5 | 602,2 | 559,1 | 565,9 | 567,2 | 571,2 | 522,6 | 529,7 | 539,8 | 545,2 | 500,9 | 503,6 | 505,7 | 508,4 | 451,9 | 455,2 |
| 5203 | 637,2 | 642,5 | 640,3 | 649,7 | 580,9 | 600,9 | 600,4 | 607,1 | 520,9 | 527,6 | 515,4 | 517,5 | 470,1 | 471,2 | 479,1 | 481,2 | 459,3 | 460,9 |
| 5204 | 513,8 | 515,6 | 515,9 | 517,2 | 502,9 | 509,2 | 510,4 | 512,6 | 472,5 | 476,9 | 459,9 | 466,2 | 450,3 | 454,9 | 455,6 | 458,2 | 400,5 | 399,2 |
| 5205 | 536,7 | 539,3 | 538,2 | 540,1 | 515,7 | 519,9 | 520,4 | 522,1 | 469,2 | 476,2 | 475,9 | 477,2 | 417,3 | 415,8 | 391,1 | 396,7 | 343,9 | 325,3 |
| 5206 | 369,2 | 373,5 | 371,9 | 379,7 | 343,9 | 350,1 | 352,2 | 361,4 | 317,9 | 321,6 | 310,9 | 312,2 | 287,8 | 286,2 | 291,9 | 298,2 | 172,1 | 175,5 |
| 5207 | 569,3 | 571,1 | 570,6 | 575,2 | 551,1 | 556,9 | 557,7 | 561,5 | 464,2 | 467,2 | 460,1 | 461,5 | 260,1 | 265,2 | 280,6 | 289,9 | 209,1 | 212,5 |
| 5208 | 334,2 | 339,2 | 337,9 | 339,2 | 325,1 | 328,9 | 328,1 | 331,7 | 314,2 | 316,2 | 315,9 | 317,6 | 194,5 | 180,2 | 190,4 | 194,5 | 157,2 | 169,4 |
| 5301 | 541,2 | 548,9 | 549,1 | 553,1 | 521,2 | 528,8 | 529,2 | 531,2 | 482,2 | 479,1 | 467,9 | 460,5 | 434,2 | 430,2 | 427,1 | 425,9 | 368,1 | 376,2 |
| 5302 | 547,2 | 551,3 | 550,2 | 556,7 | 548,8 | 551,2 | 550,4 | 555,1 | 485,6 | 490,1 | 489,4 | 495,2 | 438,2 | 444,1 | 450,2 | 458,2 | 392,5 | 399,2 |
| 5303 | 737,2 | 744,1 | 745,9 | 748,2 | 721,8 | 727,6 | 728,4 | 731,4 | 601,2 | 607,7 | 617,6 | 622,1 | 472,1 | 479,2 | 489,9 | 497,1 | 469,1 | 478,2 |
| 5304 | 460,7 | 462,1 | 461,7 | 467,1 | 532,4 | 538,9 | 539,2 | 541,7 | 510,9 | 516,4 | 507,8 | 511,4 | 467,8 | 471,6 | 482,4 | 489,7 | 459,8 | 443,7 |
| 5305 | 449,9 | 453,4 | 455,1 | 457,9 | 450,4 | 452,9 | 451,7 | 457,1 | 419,4 | 421,2 | 421,9 | 423,7 | 411,5 | 415,7 | 400,1 | 403,4 | 383,2 | 375,9 |
| 5306 | 368,5 | 371,1 | 370,1 | 374,3 | 350,9 | 352,9 | 352,4 | 356,1 | 342,8 | 346,1 | 339,7 | 341,3 | 270,1 | 272,1 | 261,2 | 263,6 | 257,1 | 255,2 |
| 5307 | 274,2 | 277,1 | 278,4 | 280,7 | 261,4 | 264,5 | 260,2 | 262,5 | 225,7 | 227,5 | 220,4 | 223,1 | 119,4 | 120,3 | 121,8 | 121,1 | 113,3 | 97,1 |
| 5308 | 280,1 | 286,7 | 287,1 | 290,4 | 258,4 | 260,8 | 260,9 | 263,7 | 207,1 | 212,9 | 196,7 | 201,1 | 180,1 | 185,7 | 155,3 | 165,2 | 126,1 | 122,5 |
| 5309 | 494,7 | 500,7 | 501,4 | 506,2 | 480,5 | 489,7 | 490,1 | 492,4 | 480,4 | 485,1 | 481,6 | 487,1 | 314,7 | 315,2 | 318,9 | 318,4 | 320,7 | 325,6 |
| 5310 | 552,6 | 558,4 | 560,1 | 564,2 | 531,6 | 540,7 | 542,4 | 550,4 | 510,7 | 515,4 | 511,8 | 514,2 | 316,7 | 321,9 | 337,5 | 341,4 | 277,4 | 289,9 |
| 5311 | 464,7 | 469,2 | 470,1 | 473,2 | 460,4 | 464,3 | 464,1 | 467,9 | 432,4 | 439,9 | 440,3 | 446,4 | 385,9 | 392,4 | 382,2 | 389,4 | 312,5 | 304,8 |
| 5312 | 441,1 | 448,2 | 447,9 | 451,2 | 414,7 | 418,4 | 419,5 | 422,2 | 385,1 | 389,9 | 392,1 | 399,3 | 368,4 | 372,1 | 365,1 | 369,9 | 349,4 | 343,7 |

ANEXO 3. Medidas de iluminancia bloque 7

| Nº | r-1 | r-2 | r-3 | r-4 | r-5 | r-6 | r-7 | r-8 | q-1 | q-2 | q-3 | q-4 | t-1 | t-2 | t-3 | t-4 | p-1 | p-2 |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 7201 | 148,1 | 152,9 | 151,1 | 153,7 | 147,2 | 149,9 | 150,4 | 152,7 | 141,7 | 144,3 | 1,38,5 | 141,3 | 135,9 | 137,2 | 132,3 | 135,4 | 128,5 | 131,4 |
| 7202 | 233,8 | 237,5 | 238,4 | 242,5 | 219,7 | 223,8 | 222,7 | 225,7 | 189,7 | 196,1 | 168,7 | 171,6 | 129,8 | 136,5 | 153,2 | 158,3 | 113,9 | 115,6 |
| 7203 | 489,5 | 496,7 | 498,4 | 503,4 | 461,4 | 469,1 | 468,7 | 472,1 | 418,1 | 426,1 | 422,8 | 438,7 | 368,4 | 359,4 | 375,2 | 362,4 | 320,4 | 311,4 |
| 7204 | 264,7 | 265,4 | 268,4 | 270,5 | 248,3 | 251,8 | 250,4 | 254,2 | 225,4 | 227,1 | 218,4 | 216,2 | 204,1 | 208,7 | 209,5 | 210,5 | 196,5 | 200,2 |
| 7301 | 315,2 | 328,9 | 329,4 | 331,6 | 298,1 | 304,7 | 302,6 | 309,5 | 238,5 | 242,8 | 241,7 | 245,8 | 226,3 | 219,6 | 214,3 | 210,1 | 201,6 | 194,4 |
| 7302 | 339,5 | 341,2 | 340,8 | 343,1 | 301,7 | 306,2 | 310,7 | 312,8 | 253,8 | 262,4 | 260,3 | 265,2 | 206,5 | 208,3 | 211,2 | 212,8 | 194,2 | 190,6 |
| 7303 | 298,7 | 300,7 | 301,8 | 305,2 | 271,8 | 277,3 | 279,5 | 286,7 | 253,7 | 257,8 | 259,4 | 265,3 | 181,7 | 187,3 | 186,7 | 191 | 169,3 | 162,5 |
| 7304 | 178,4 | 180,9 | 181,7 | 185,2 | 168,5 | 170,8 | 171,7 | 175,9 | 150,7 | 153,4 | 152,7 | 156,2 | 125,4 | 129,3 | 132,7 | 137,8 | 117,9 | 120,4 |
| 7401 | 252,9 | 257,9 | 260,7 | 271,6 | 240,1 | 248,7 | 249,6 | 258,7 | 214,9 | 220,4 | 215,4 | 218,9 | 173,2 | 180,1 | 184,2 | 192,4 | 151,5 | 159,7 |
| 7402 | 250,1 | 254,8 | 253,9 | 259,6 | 222,9 | 227,1 | 226,3 | 230,5 | 209,1 | 212,7 | 214,8 | 217,2 | 194,7 | 200,1 | 187,4 | 190,7 | 181,7 | 174,9 |
| 7403 | 719,3 | 724,1 | 729,5 | 734,4 | 377,1 | 683,3 | 680,7 | 686,4 | 473,2 | 475,1 | 477,9 | 484 | 412,9 | 408 | 369,4 | 376,2 | 386 | 281,4 |
| 7404 | 127,9 | 129,9 | 129,2 | 130,1 | 121,1 | 123,1 | 124,5 | 125,2 | 112,7 | 114,9 | 115,4 | 117,2 | 108,5 | 110,9 | 100,2 | 104,9 | 67,2 | 60,2 |
| 7501 | 512,1 | 517,9 | 516,2 | 519 | 488,1 | 493,1 | 494,7 | 498,4 | 409,2 | 411,5 | 414,1 | 417 | 381,9 | 384,2 | 385,4 | 387 | 374 | 360 |
| 7502 | 358,7 | 360,1 | 360,4 | 361,7 | 338,9 | 346,2 | 347,9 | 352,1 | 287,2 | 285,7 | 271,2 | 274,3 | 238,1 | 240,7 | 224,7 | 225,1 | 181,2 | 172,4 |
| 7503 | 479,5 | 485,2 | 484,8 | 490 | 441,9 | 447,2 | 449,5 | 454,1 | 377,2 | 378,4 | 391,5 | 394,2 | 332,1 | 321,7 | 348,5 | 341,7 | 271,7 | 285,1 |
| 7504 | 481,7 | 487,7 | 489,5 | 492,1 | 458,1 | 458,3 | 459,7 | 461 | 354,9 | 358 | 350,9 | 355,7 | 255,9 | 259,1 | 262,4 | 264,7 | 265,4 | 226,7 |

ANEXO 4. Medidas de iluminancia bloque 8

| Nº | r-1 | r-2 | r-3 | r-4 | r-5 | r-6 | r-7 | r-8 | q-1 | q-2 | q-3 | q-4 | t-1 | t-2 | t-3 | t-4 | p-1 | p-2 |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 8301 | 512,4 | 519,2 | 519,7 | 526 | 495,2 | 505 | 505,2 | 509,6 | 478,9 | 485,5 | 482,8 | 491,3 | 444,8 | 452,2 | 451,8 | 458,2 | 399,6 | 390,1 |
| 8302 | 511,1 | 517,9 | 518,4 | 524,7 | 493,9 | 503,7 | 503,9 | 508,3 | 477,6 | 484,2 | 481,5 | 490 | 443,5 | 450,9 | 450,5 | 456,9 | 431,7 | 419,4 |
| 8303 | 507,2 | 514 | 514,5 | 520,8 | 490 | 499,8 | 500 | 504,4 | 473,7 | 480,3 | 477,6 | 486,1 | 439,6 | 447 | 446,6 | 453 | 394,4 | 384,9 |
| 8304 | 515 | 521,5 | 519,9 | 527,1 | 467,4 | 469 | 468,3 | 479,4 | 433,9 | 338,4 | 438,8 | 440,5 | 410,2 | 405,5 | 415,9 | 409,1 | 379,1 | 385,1 |
| 8401 | 509,6 | 516,4 | 516,9 | 523,2 | 492,4 | 502,2 | 502,4 | 506,8 | 476,1 | 482,7 | 480 | 488,5 | 442 | 449,4 | 449 | 455,4 | 396,8 | 387,3 |
| 8402 | 510,8 | 517,6 | 518,1 | 524,4 | 493,6 | 503,4 | 503,6 | 508 | 477,3 | 483,9 | 481,2 | 489,7 | 443,2 | 450,6 | 450,2 | 456,6 | 398 | 388,5 |
| 8403 | 510,3 | 517,1 | 517,6 | 523,9 | 493,1 | 502,9 | 503,1 | 507,5 | 476,8 | 483,4 | 480,7 | 489,2 | 442,7 | 450,1 | 449,7 | 456,1 | 397,5 | 388 |
| 8404 | 516,3 | 522,8 | 521,2 | 528,4 | 468,7 | 470,3 | 469,6 | 480,7 | 435,2 | 339,7 | 440,1 | 441,8 | 411,5 | 406,8 | 417,2 | 410,4 | 380,4 | 386,4 |
| 8501 | 516,7 | 523,5 | 524 | 530,3 | 499,5 | 509,3 | 509,5 | 513,9 | 483,2 | 489,8 | 487,1 | 495,6 | 449,1 | 456,5 | 456,1 | 462,5 | 403,9 | 394,4 |
| 8502 | 513,5 | 520,3 | 520,8 | 527,1 | 496,3 | 506,1 | 506,3 | 510,7 | 480 | 486,6 | 483,9 | 492,4 | 445,9 | 453,3 | 452,9 | 459,3 | 400,7 | 391,2 |
| 8503 | 513 | 519,8 | 520,3 | 526,6 | 495,8 | 505,6 | 505,8 | 510,2 | 479,5 | 486,1 | 483,4 | 491,9 | 445,4 | 452,8 | 452,4 | 458,8 | 400,2 | 390,7 |
| 8504 | 517,7 | 524,2 | 522,6 | 529,8 | 470,1 | 471,7 | 471 | 482,1 | 436,6 | 341,1 | 441,5 | 443,2 | 412,9 | 408,2 | 418,6 | 411,8 | 381,8 | 387,8 |

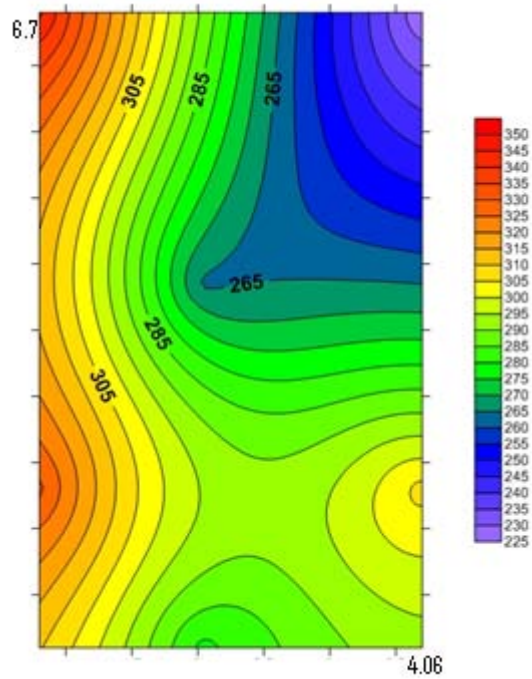
ANEXO 5. Medidas de iluminancia registradas bloque 9

| Nº | r-1 | r-2 | r-3 | r-4 | r-5 | r-6 | r-7 | r-8 | q-1 | q-2 | q-3 | q-4 | t-1 | t-2 | t-3 | t-4 | p-1 | p-2 |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 9201 | 676,8 | 681,6 | 680,1 | 685,1 | 624,6 | 628,9 | 630,1 | 634,2 | 570,1 | 578,9 | 579,2 | 587,2 | 429,2 | 436,7 | 440,1 | 445,3 | 376,2 | 352,5 |
| 9202 | 459,4 | 465,7 | 468,2 | 474,2 | 361,3 | 368,1 | 369,2 | 373,2 | 301,1 | 311,1 | 312,4 | 320,3 | 258,6 | 266,5 | 260,1 | 263,6 | 210,1 | 217,3 |
| 9203 | 399,7 | 403,9 | 405,2 | 410,2 | 387,6 | 393,5 | 394,1 | 402,4 | 362,5 | 370,2 | 373,2 | 378,2 | 347,5 | 350,7 | 348,2 | 355,1 | 340,2 | 343,2 |
| 9301 | 680,4 | 689,7 | 691,5 | 700,2 | 657,8 | 662,4 | 665,3 | 671,1 | 601,9 | 610,4 | 609,3 | 618,9 | 446,7 | 452,7 | 459,4 | 465,7 | 406,7 | 389,9 |
| 9302 | 506,7 | 512,7 | 510,9 | 521,4 | 400,8 | 406,1 | 405,8 | 411,4 | 348,2 | 357,8 | 358,6 | 369,2 | 297,6 | 305,4 | 298,2 | 302,4 | 246,4 | 253,9 |
| 9303 | 448,9 | 459,1 | 461,2 | 470,6 | 434,8 | 449,1 | 444,9 | 451,9 | 390,1 | 399,4 | 401,6 | 412,6 | 386,4 | 390,1 | 386,5 | 396,4 | 382,9 | 389,5 |
| 9304 | 530,1 | 534,6 | 532,1 | 539,2 | 450,1 | 456,8 | 459,4 | 465,9 | 447,2 | 452,9 | 447,8 | 456,4 | 427,2 | 431,4 | 407,8 | 415,6 | 377,6 | 381,4 |
| 9401 | 677,1 | 685,1 | 686,7 | 699,4 | 643,6 | 651,2 | 650,9 | 659,9 | 582,9 | 597,5 | 596,8 | 605,2 | 446,8 | 452,1 | 460,1 | 464,8 | 392,4 | 375,2 |
| 9402 | 489,2 | 496,8 | 498,6 | 505,9 | 380,4 | 389,9 | 391,5 | 400,4 | 337,5 | 345,4 | 348,2 | 355,1 | 289,4 | 296,2 | 288,2 | 292,1 | 209,4 | 215,1 |
| 9403 | 448,4 | 462,7 | 460,5 | 472,5 | 410,2 | 418,9 | 419,8 | 421,6 | 381,2 | 389,4 | 392,6 | 401,2 | 369,9 | 374,2 | 369,8 | 376,7 | 359,2 | 362,7 |
| 9404 | 545,3 | 549,8 | 547,3 | 554,4 | 465,3 | 472 | 474,6 | 481,1 | 462,4 | 468,1 | 463 | 471,6 | 442,4 | 446,6 | 423 | 430,8 | 392,8 | 396,6 |
| 9501 | 665,7 | 671,7 | 672,5 | 680,8 | 648,6 | 655,9 | 656,8 | 662,5 | 590,6 | 599,1 | 598,3 | 609,4 | 450,7 | 459,4 | 466,2 | 472,5 | 402,1 | 350,9 |
| 9502 | 477,9 | 490,1 | 489,9 | 500,9 | 393,8 | 402,6 | 401,9 | 410,2 | 342,1 | 350,9 | 355,4 | 362,2 | 309,1 | 313,4 | 292,4 | 301,8 | 248,7 | 259,7 |
| 9503 | 457,8 | 466,8 | 465,4 | 472,7 | 450,7 | 453,8 | 452,9 | 460,1 | 423,7 | 431,6 | 433,9 | 442,7 | 403,5 | 412,3 | 400,6 | 407,9 | 387,1 | 394,2 |
| 9504 | 541,2 | 545,7 | 543,2 | 550,3 | 461,2 | 467,9 | 470,5 | 477 | 458,3 | 464 | 458,9 | 467,5 | 438,3 | 442,5 | 418,9 | 426,7 | 388,7 | 392,5 |

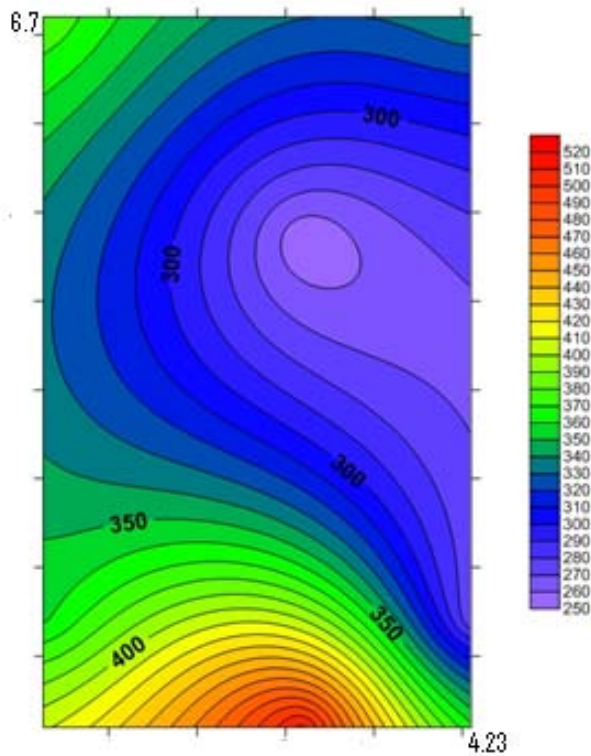
ANEXO 6. Medidas de iluminancia registradas bloque Ei

| Nº | r-1 | r-2 | r-3 | r-4 | r-5 | r-6 | r-7 | r-8 | q-1 | q-2 | q-3 | q-4 | t-1 | t-2 | t-3 | t-4 | p-1 | p-2 |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Ei-101 | 359,1 | 364,5 | 365,1 | 367,8 | 350,1 | 351,8 | 353,1 | 354,7 | 335,8 | 337,6 | 337,1 | 338,5 | 314,2 | 315,6 | 305,4 | 307,7 | 240,9 | 231,4 |
| Ei-102 | 332,3 | 336,8 | 336,1 | 338,8 | 321,9 | 325,9 | 326,4 | 327,4 | 298,5 | 301,2 | 319,6 | 321,7 | 261,1 | 252,9 | 234,9 | 236,1 | 207,9 | 201,5 |
| Ei-103 | 362,1 | 362,7 | 362,1 | 363,5 | 301,7 | 302,4 | 305,2 | 308,9 | 287,8 | 290,3 | 290,1 | 293,4 | 257,9 | 245,7 | 222,1 | 225,5 | 152,7 | 149,1 |
| Ei-104 | 335,7 | 338,9 | 338,2 | 339,4 | 328,1 | 329,5 | 330,1 | 331,4 | 278,2 | 280,3 | 281,1 | 282,8 | 231,9 | 235,7 | 241,5 | 244,1 | 206,4 | 210,4 |
| Ei-105 | 391,5 | 396,9 | 397,5 | 400,1 | 388,9 | 391,4 | 396,7 | 399,7 | 385,9 | 386,2 | 388,1 | 389,7 | 385,2 | 384,9 | 382,1 | 380,2 | 377,7 | 374 |
| Ei-106 | 345,2 | 348,9 | 350,7 | 352,9 | 330,9 | 332,9 | 332,1 | 333,6 | 325,1 | 327,6 | 328,1 | 329,3 | 310,7 | 314,6 | 316,8 | 318,1 | 242,7 | 241,6 |
| Ei-107 | 531,8 | 532,9 | 532,4 | 533,9 | 527,6 | 529,1 | 529,7 | 530,1 | 489,4 | 490,7 | 497,3 | 500 | 389,4 | 392,1 | 380,4 | 385,3 | 359,7 | 352,7 |
| Ei-108 | 536,7 | 539,3 | 538,2 | 540,1 | 515,7 | 519,9 | 520,4 | 522,1 | 469,2 | 476,2 | 475,9 | 477,2 | 417,3 | 415,8 | 391,1 | 396,7 | 343,9 | 325,3 |
| Ei-109 | 587,2 | 592,7 | 591,8 | 595,5 | 570,4 | 575,1 | 575,4 | 578,2 | 567,1 | 568 | 537,5 | 535 | 500,1 | 504 | 512,3 | 520 | 386,1 | 350,2 |
| Ei-110 | 681,2 | 684,5 | 684,1 | 685,2 | 676,2 | 678,2 | 679,7 | 681,3 | 665,2 | 667,1 | 661,1 | 664,7 | 618,2 | 617,4 | 627,6 | 630,1 | 604,7 | 517 |

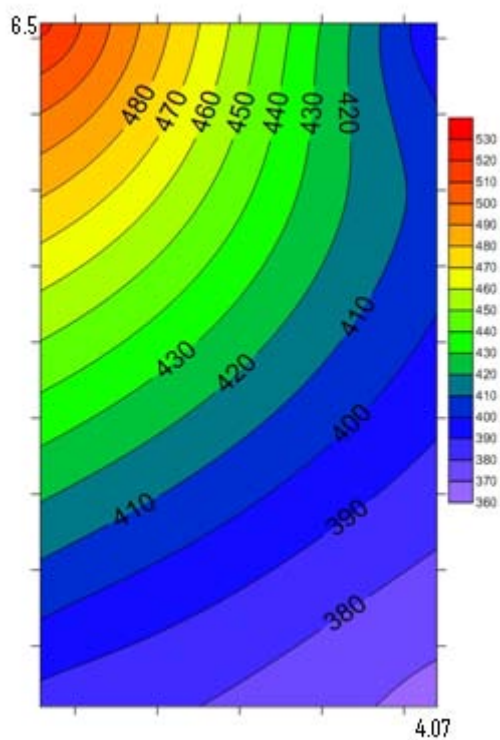
ANEXO 7. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 2410



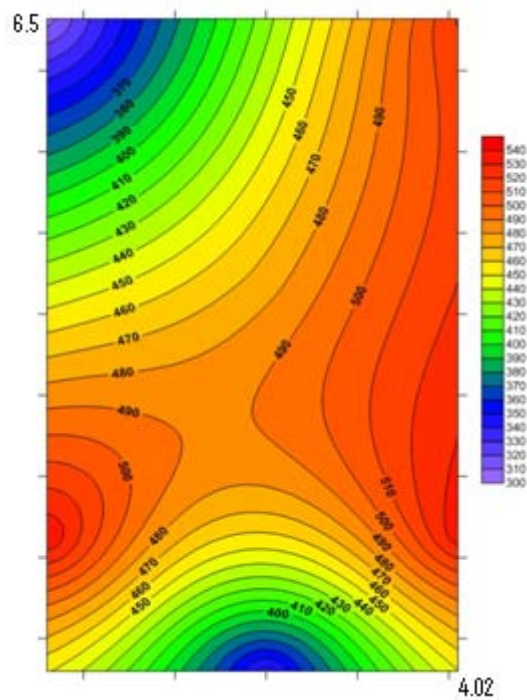
ANEXO 8. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 2411



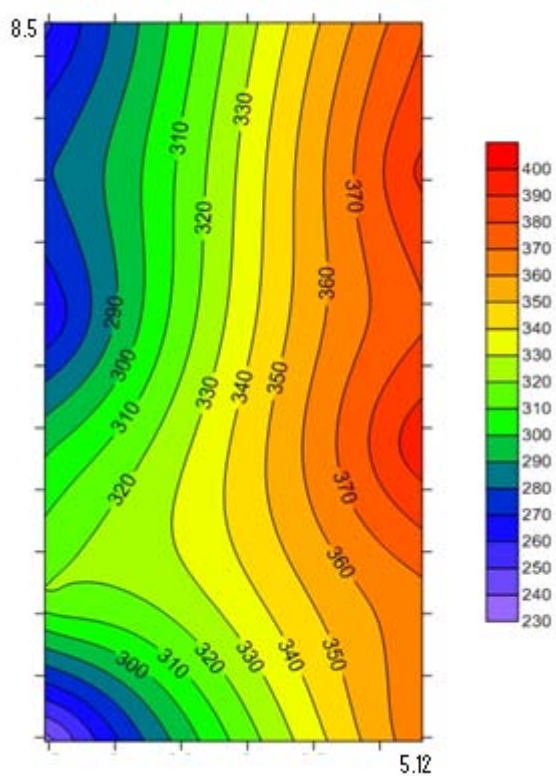
ANEXO 9. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 3201



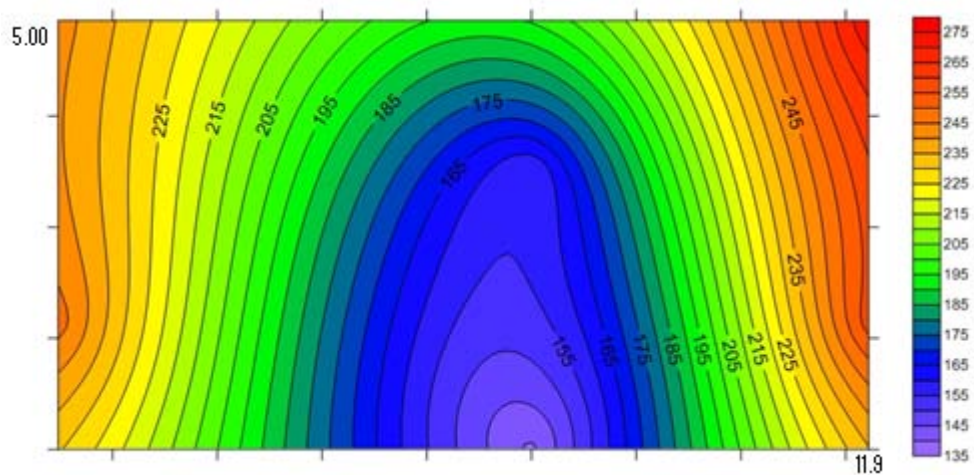
ANEXO 10. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 3202



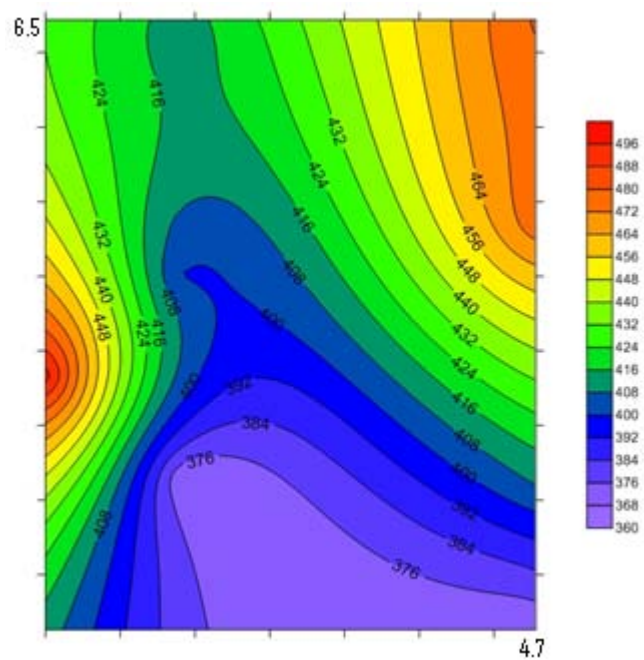
ANEXO 11. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 3206



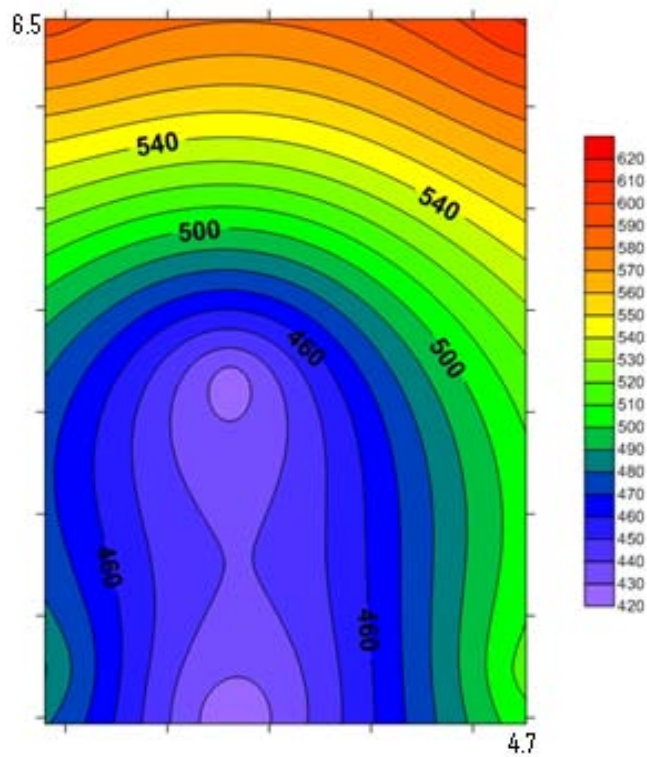
ANEXO 12. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 3207



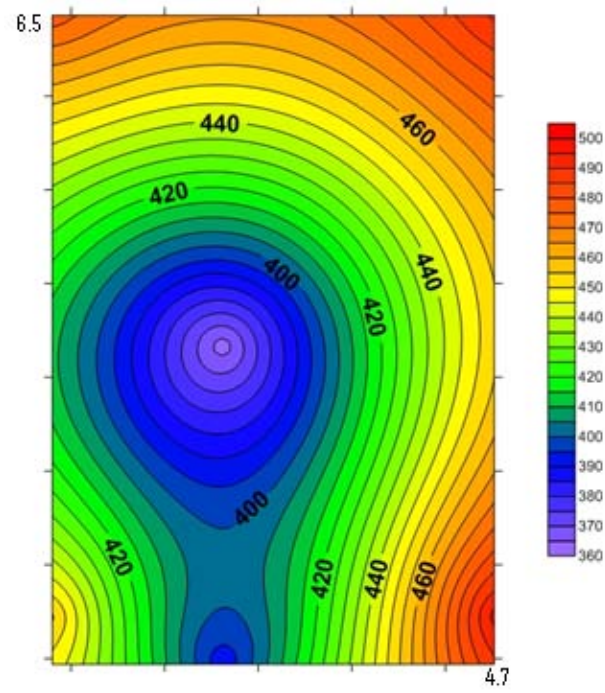
ANEXO 13. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 3212



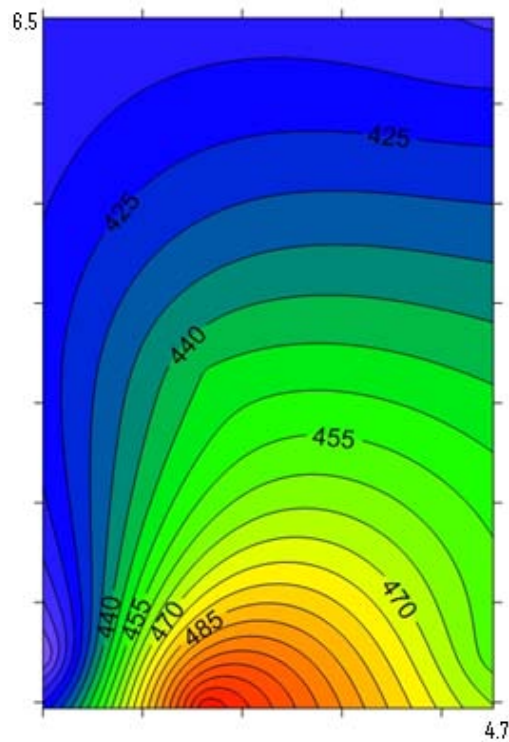
ANEXO 14 Gráficas de iluminancia con SURFER salón 3301



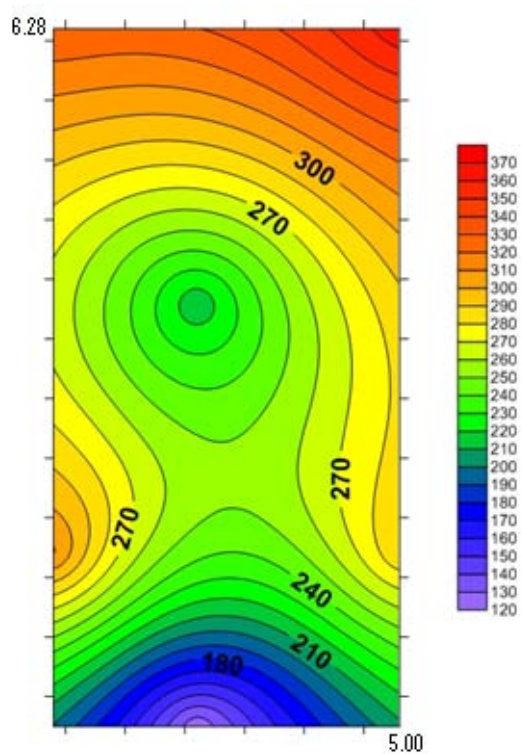
ANEXO 15. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 3302



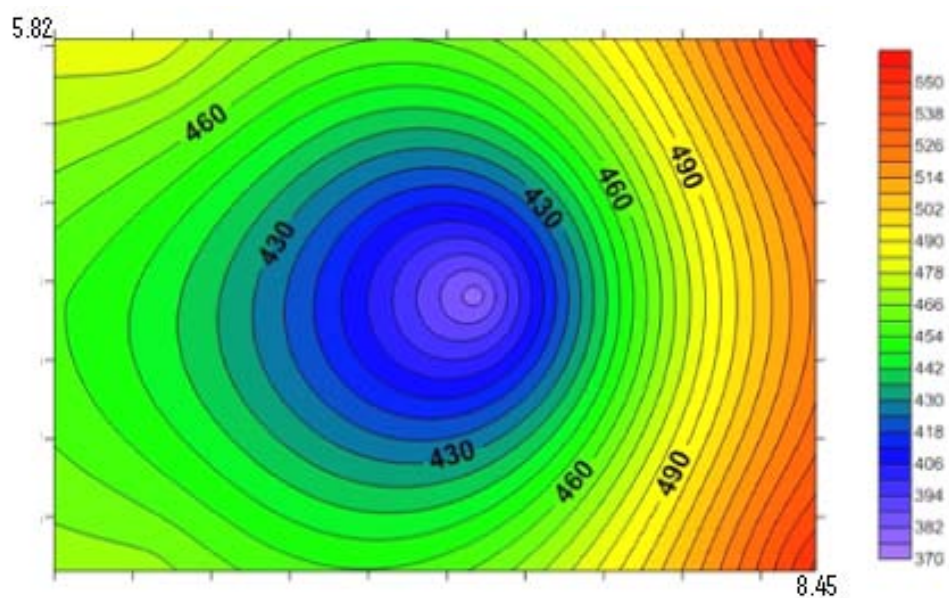
ANEXO 16. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 3303



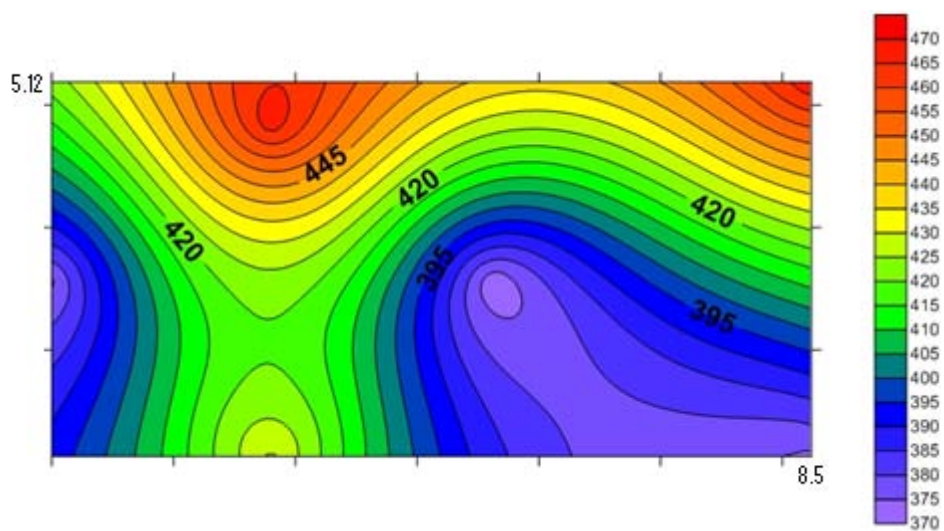
ANEXO 17. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 3304



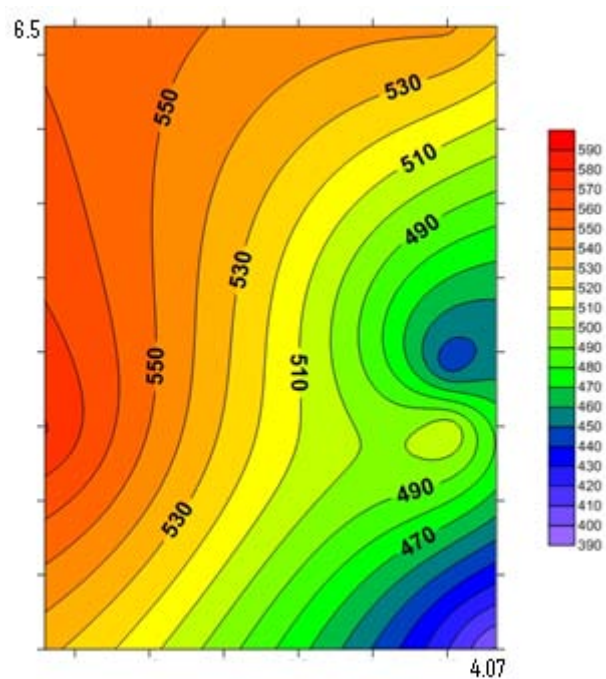
ANEXO 18. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 3305



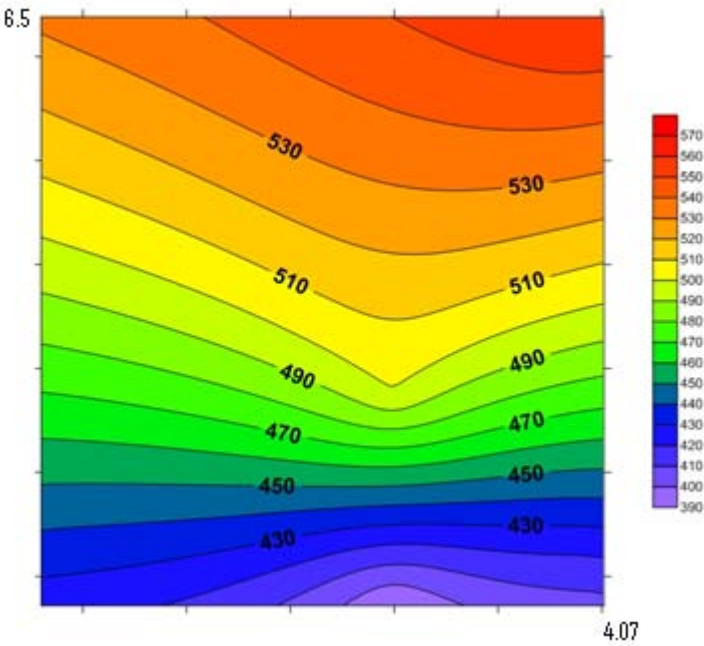
ANEXO 19. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 3306



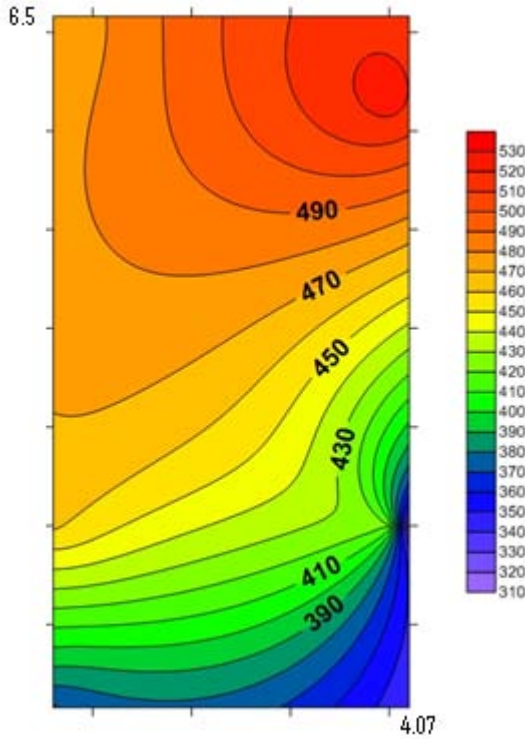
ANEXO 20. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 3407



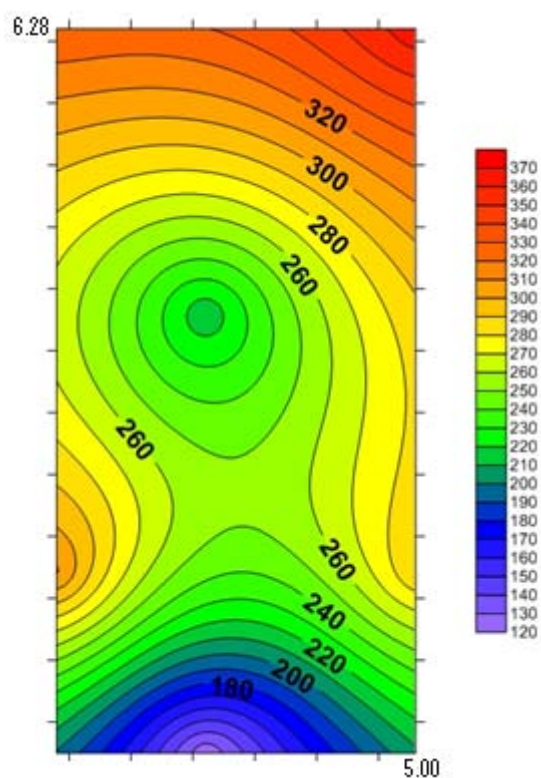
ANEXO 21. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 3408



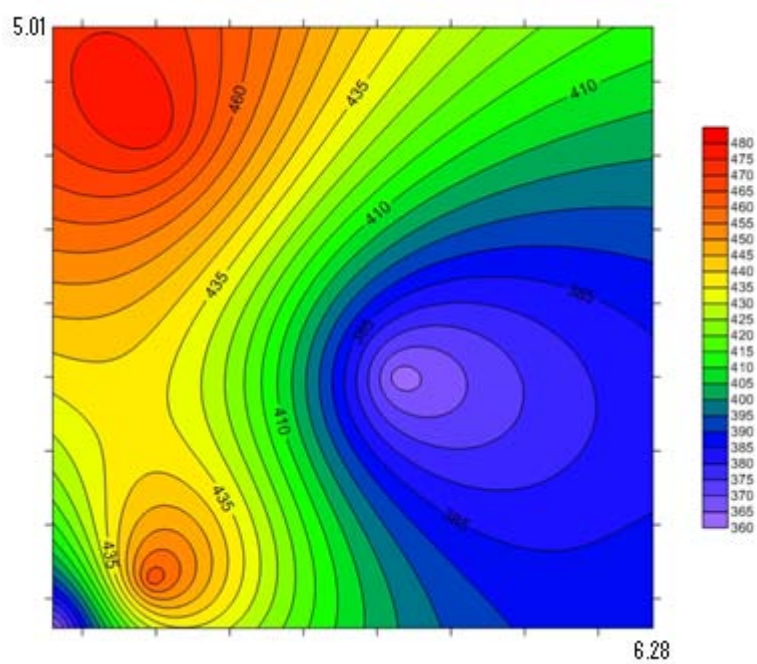
ANEXO 22. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 3409



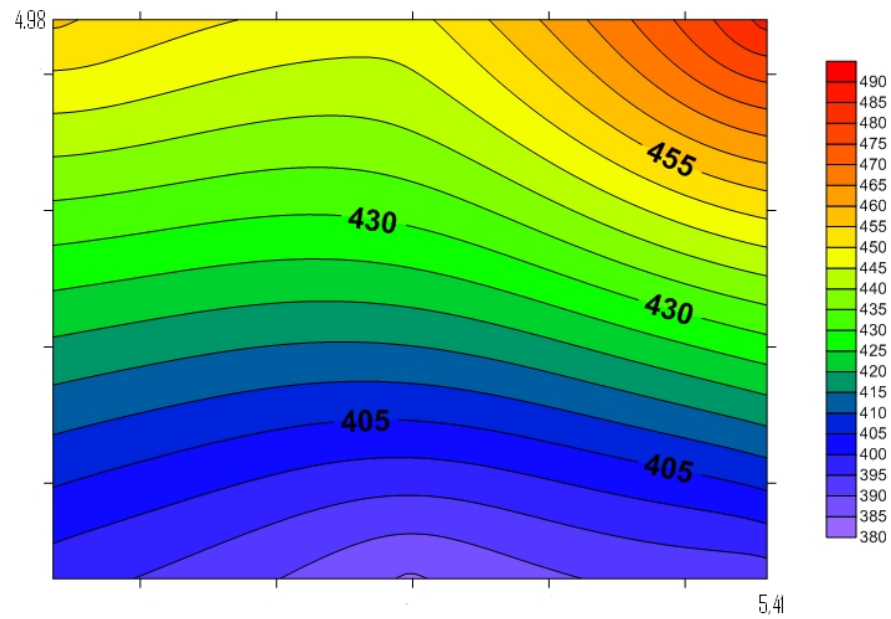
ANEXO 23. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 3410



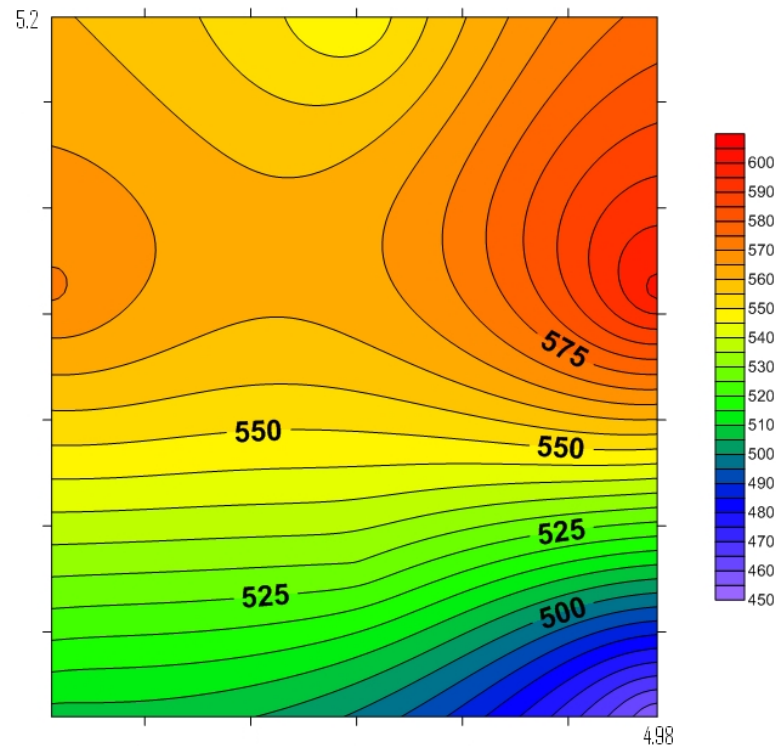
ANEXO 24. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 3411



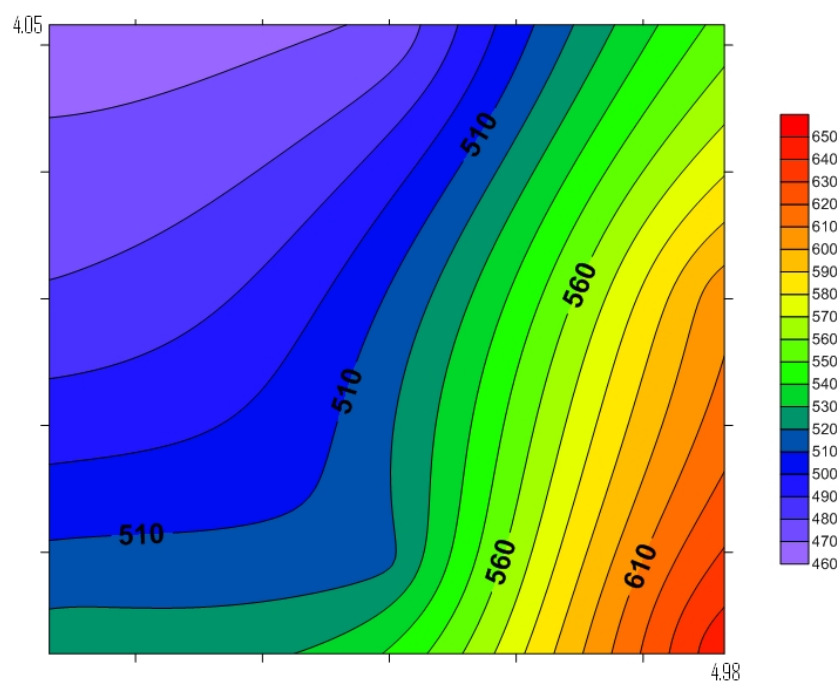
ANEXO 25. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 5201



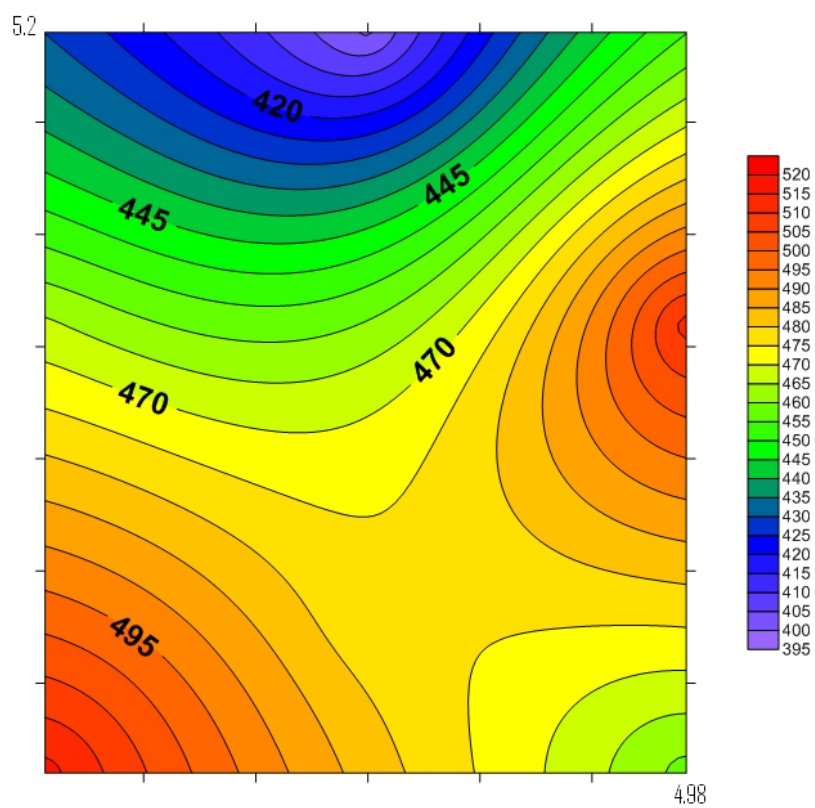
ANEXO 26. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 5202



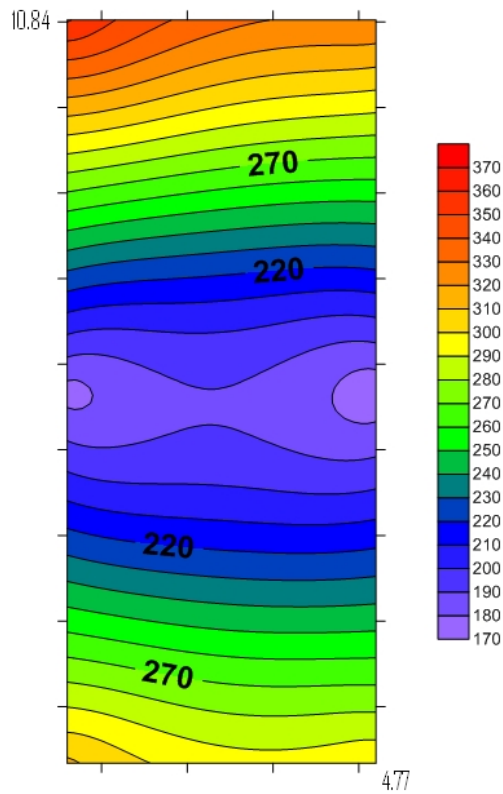
ANEXO 27. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 5203



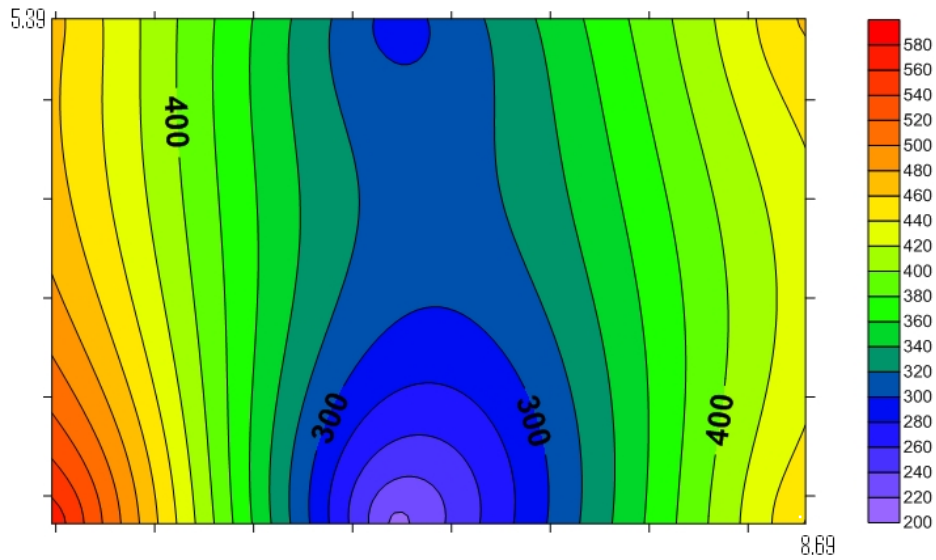
ANEXO 28. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 5204



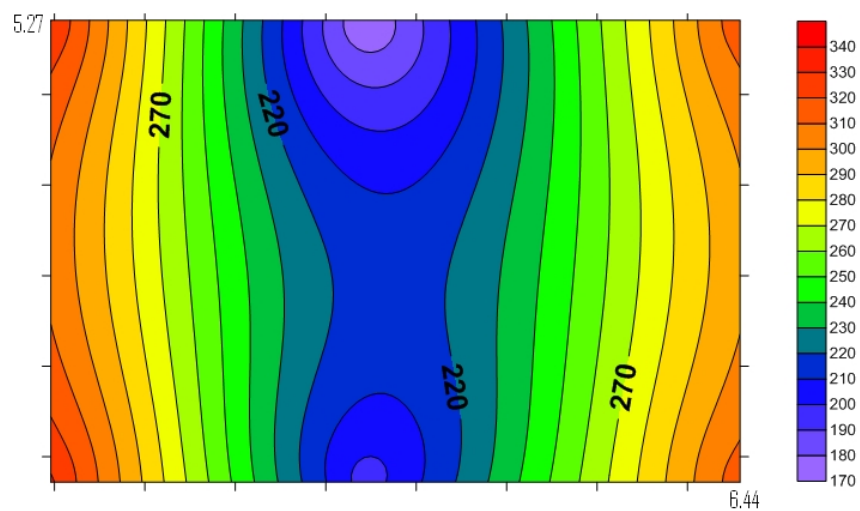
ANEXO 29. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 5206



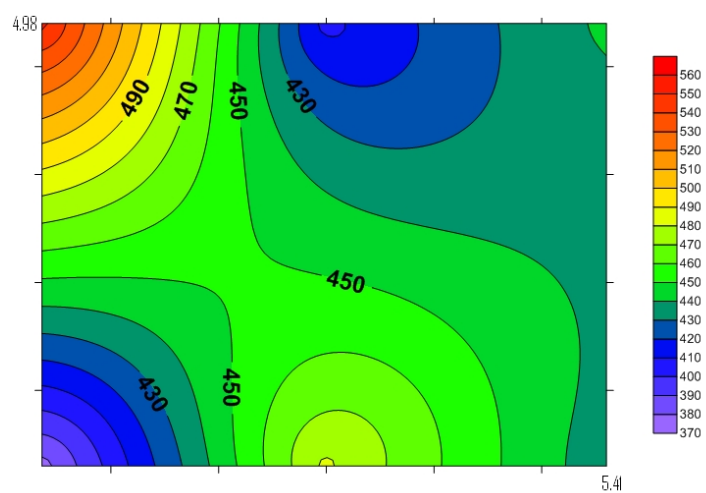
ANEXO 30. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 5207



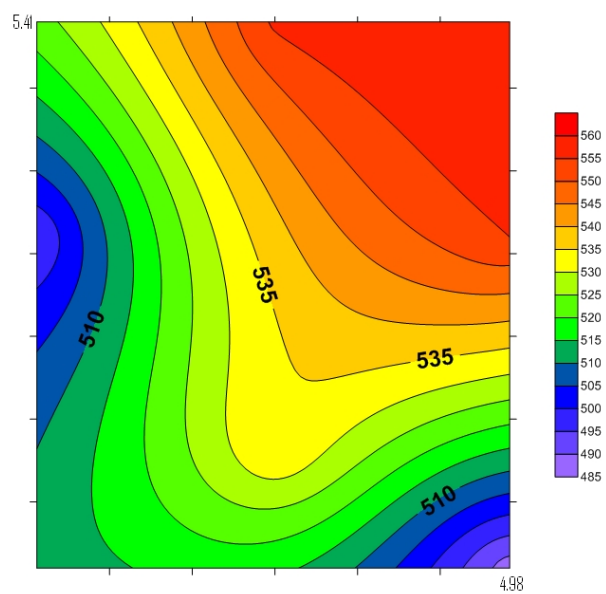
ANEXO 31. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 5208



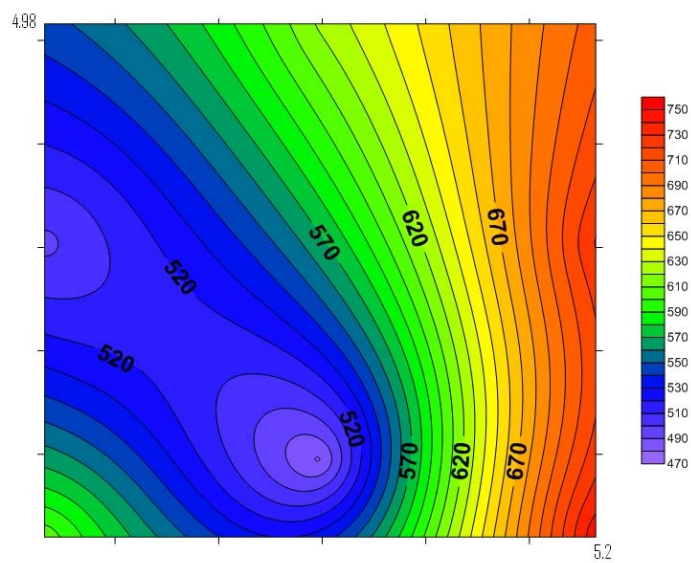
ANEXO 32. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 5301



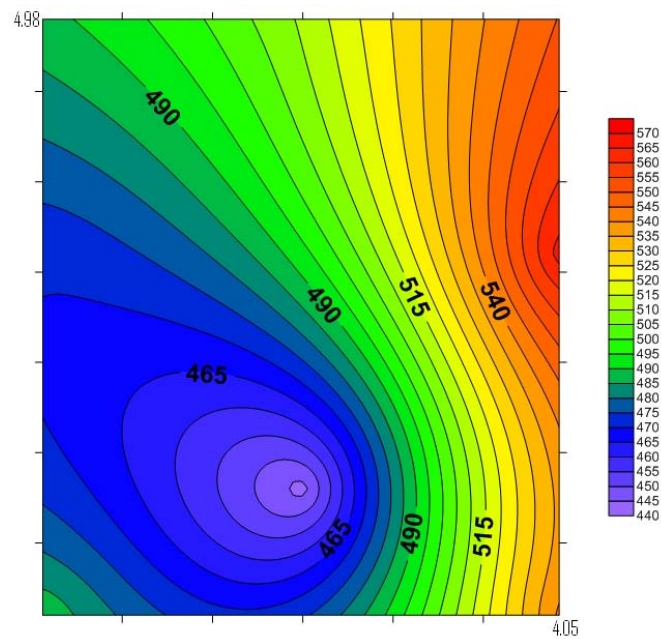
ANEXO 33. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 5302



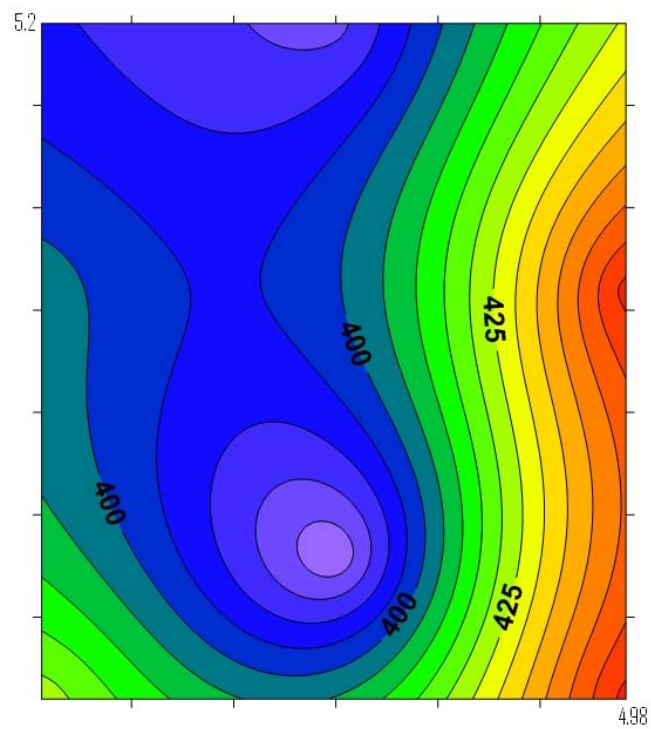
ANEXO 34. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 5303



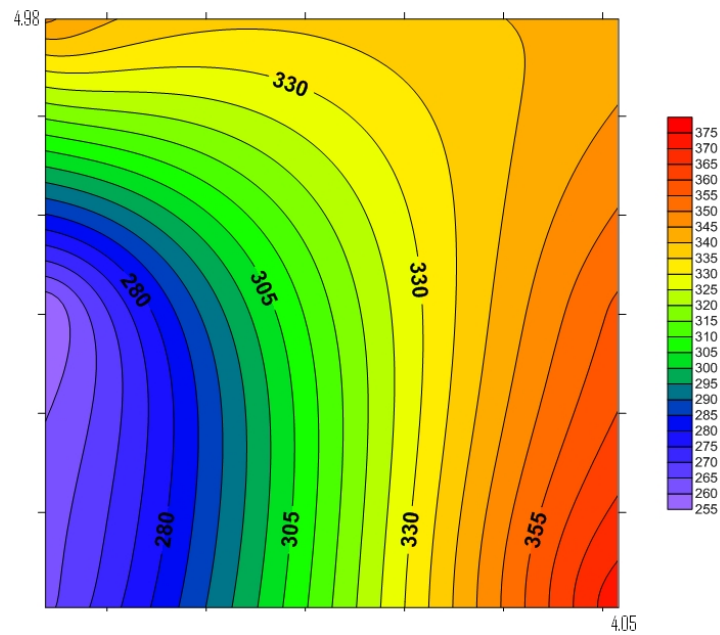
ANEXO 35. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 5304



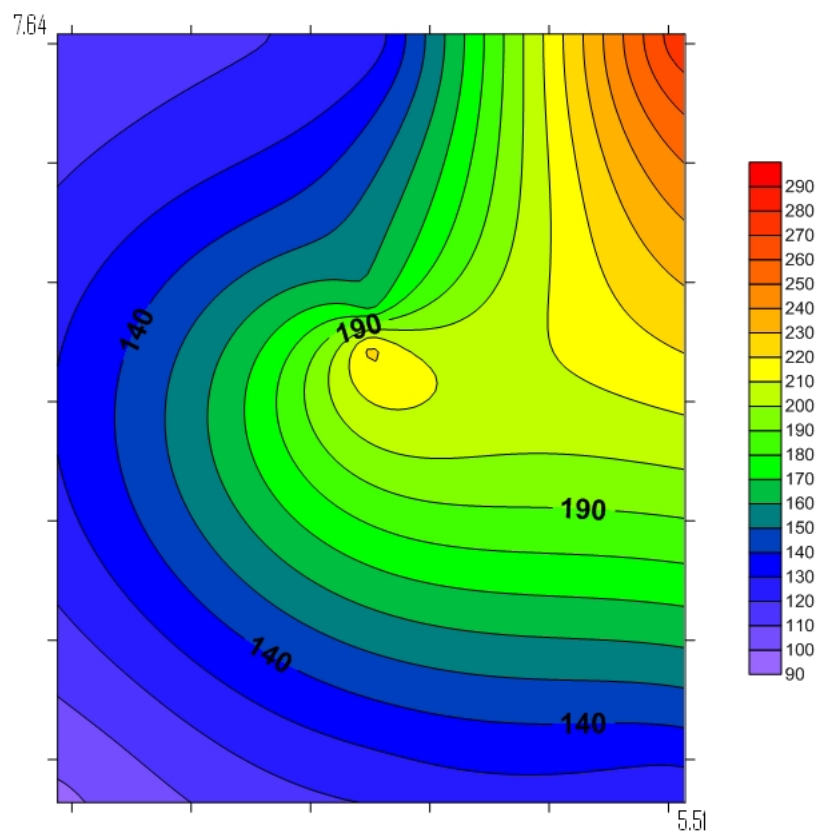
ANEXO 36. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 5305



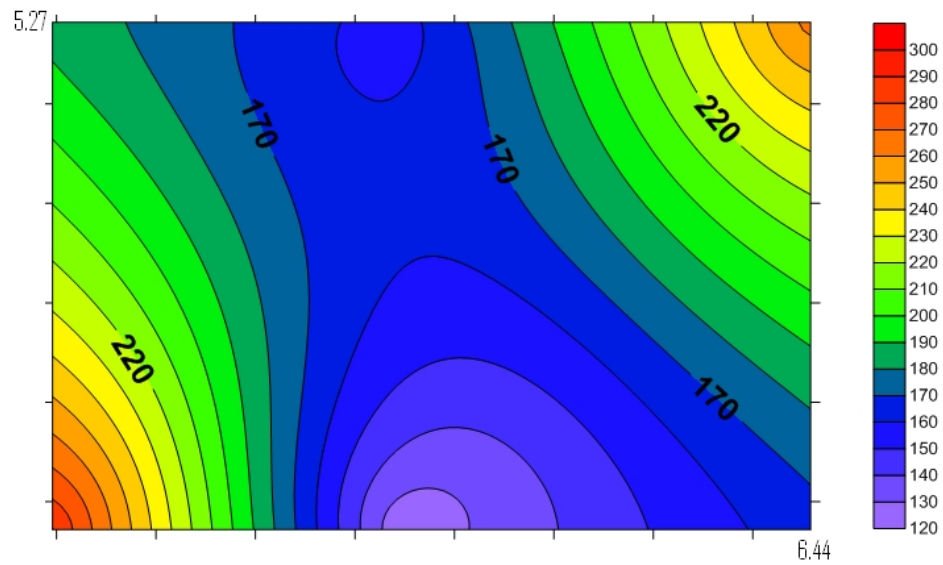
ANEXO 37. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 5306



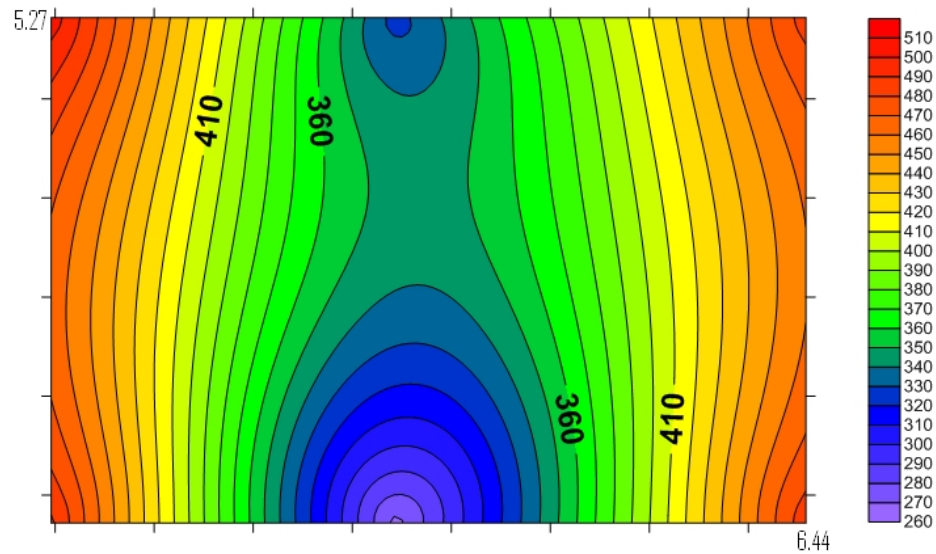
ANEXO 38. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 5307



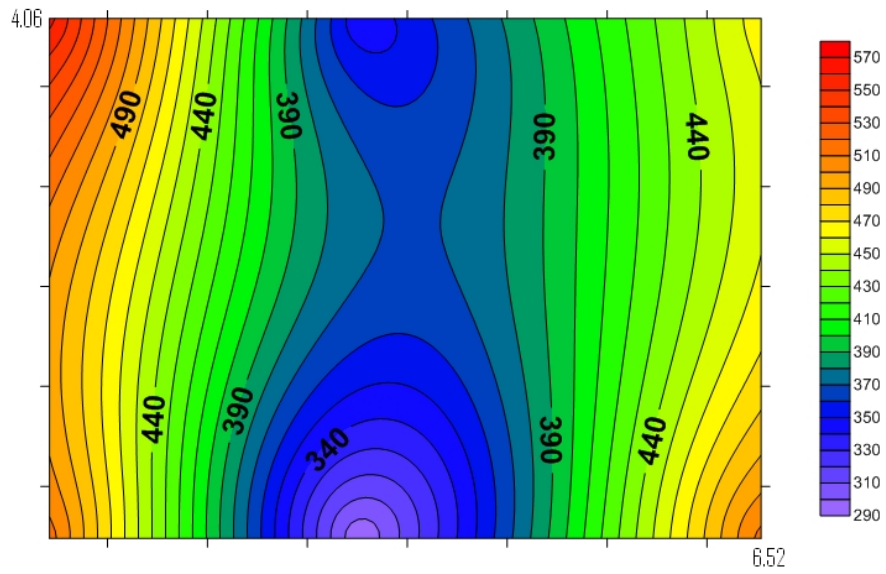
ANEXO 39. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 5308



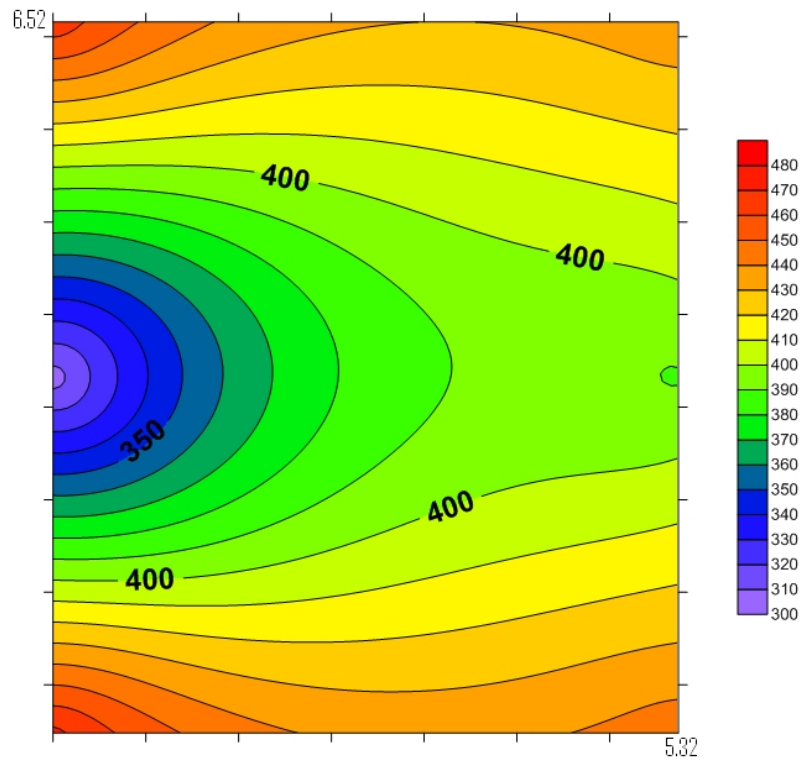
ANEXO 40. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 5309



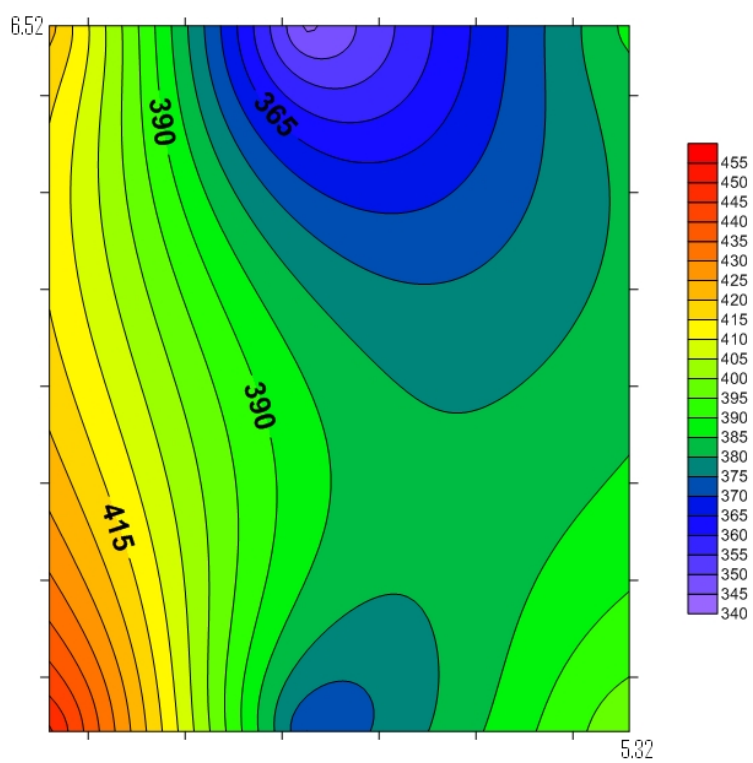
ANEXO 41. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 5310



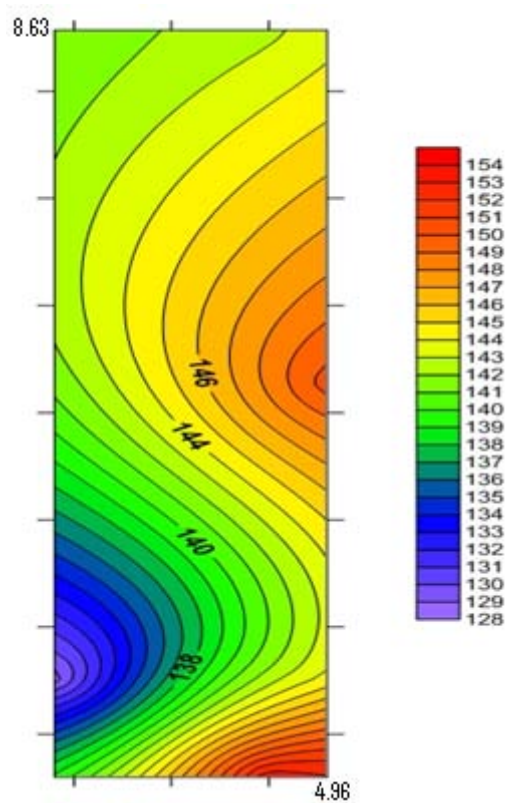
ANEXO 42. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 5311



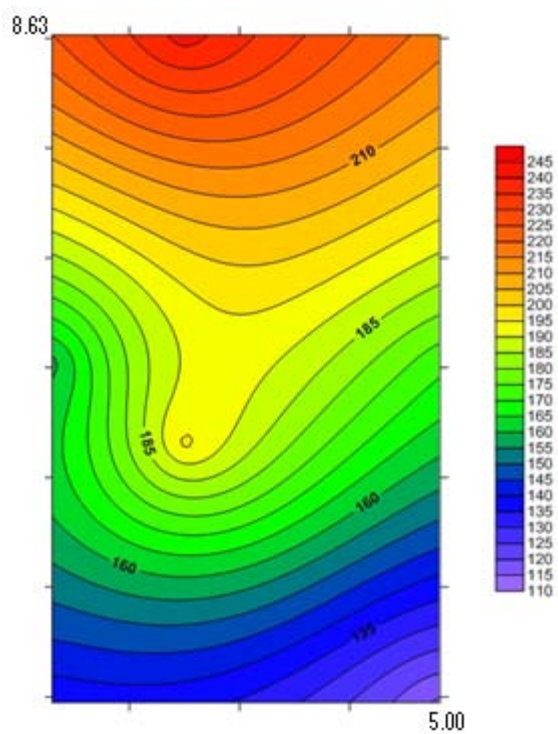
ANEXO 43. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 5312



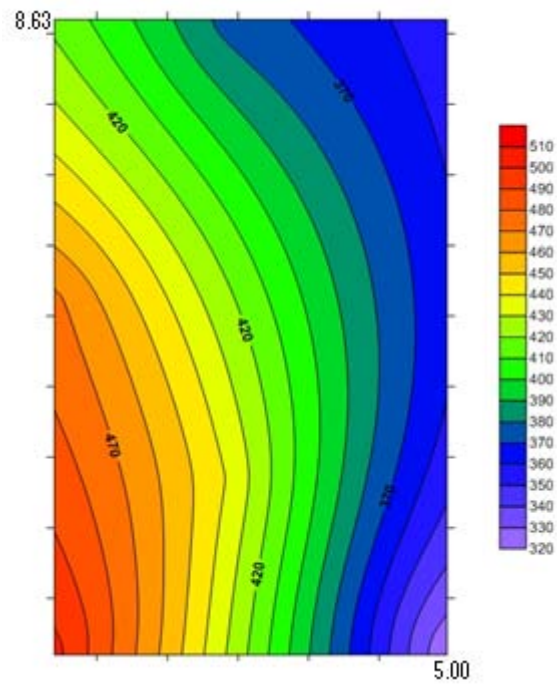
ANEXO 44. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 7201



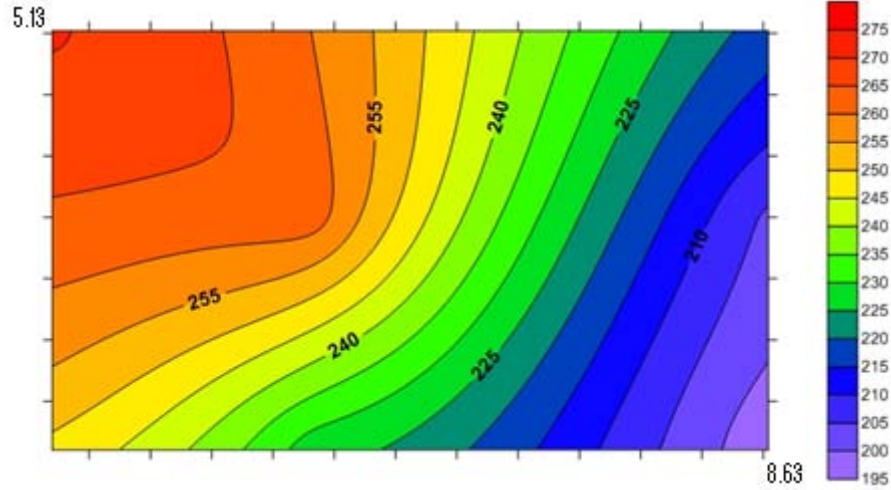
ANEXO 45. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 7202



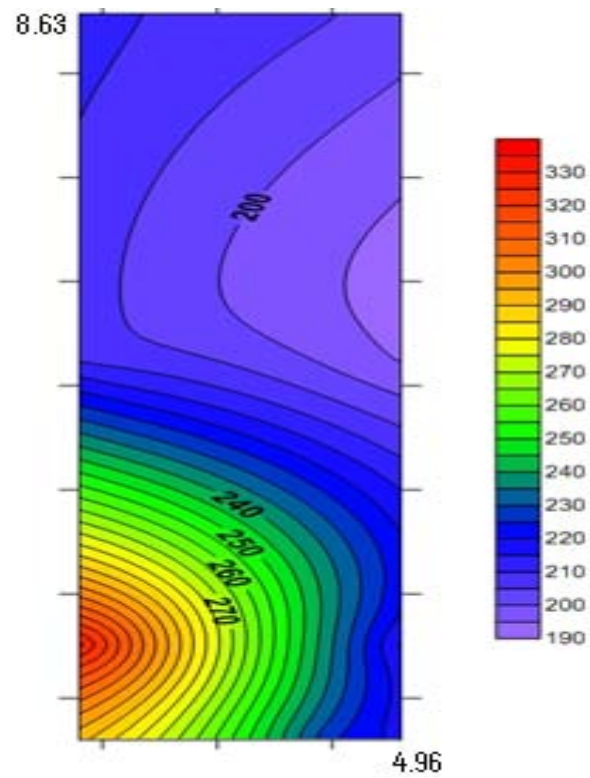
ANEXO 46. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 7203



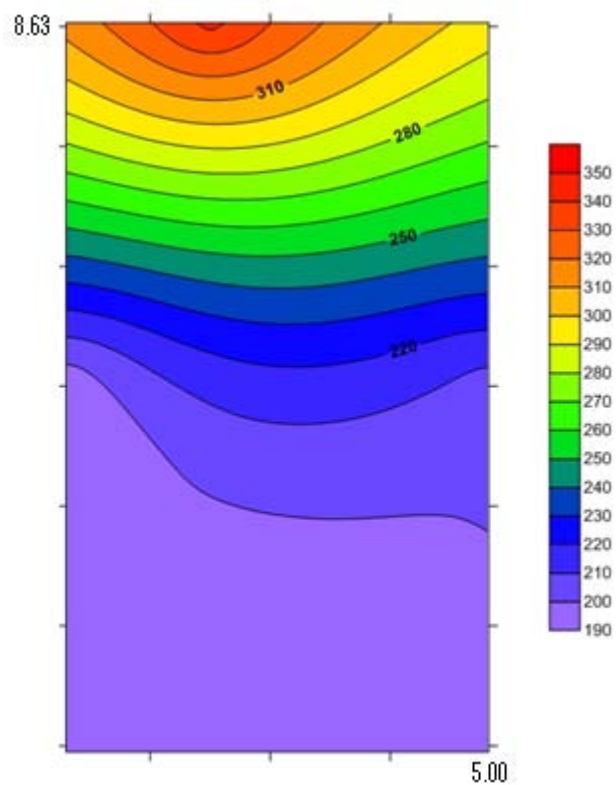
ANEXO 47. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 7204



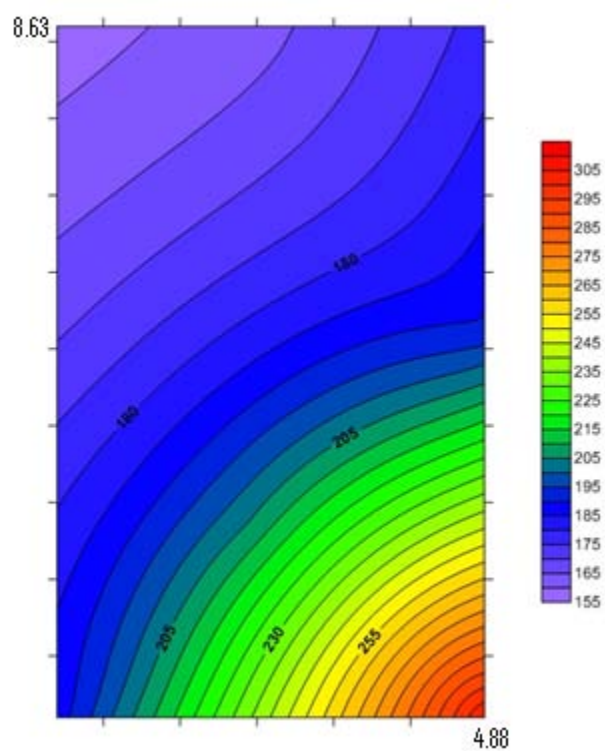
ANEXO 48. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 7301



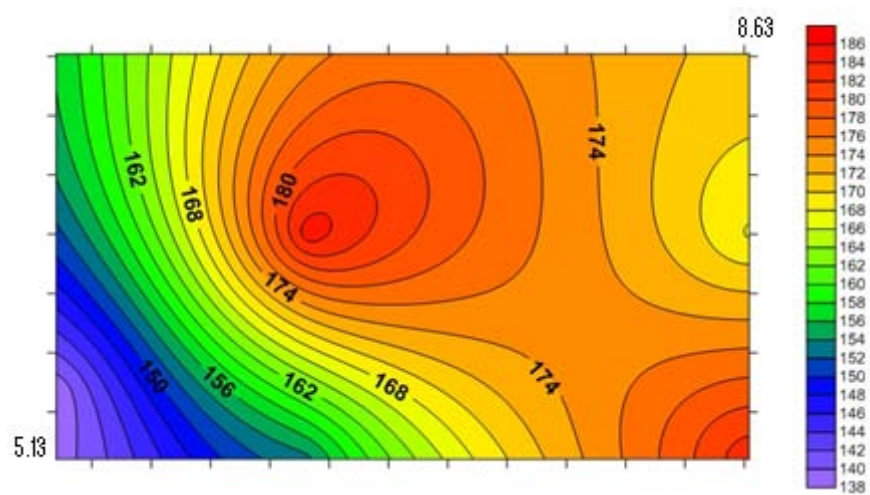
ANEXO 49. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 7302



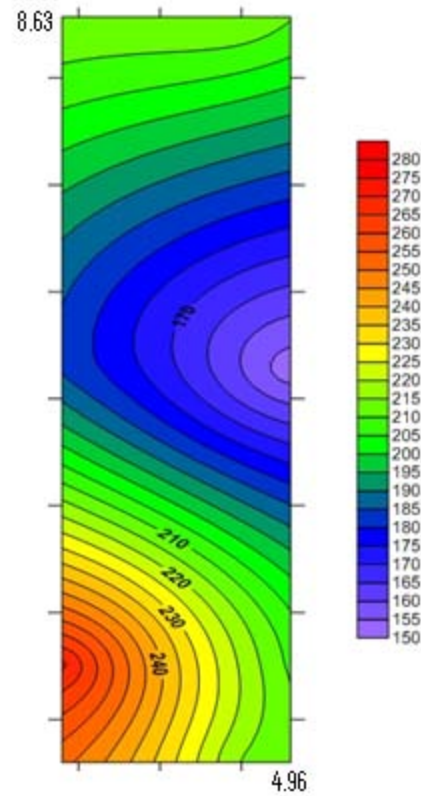
ANEXO 50. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 7303



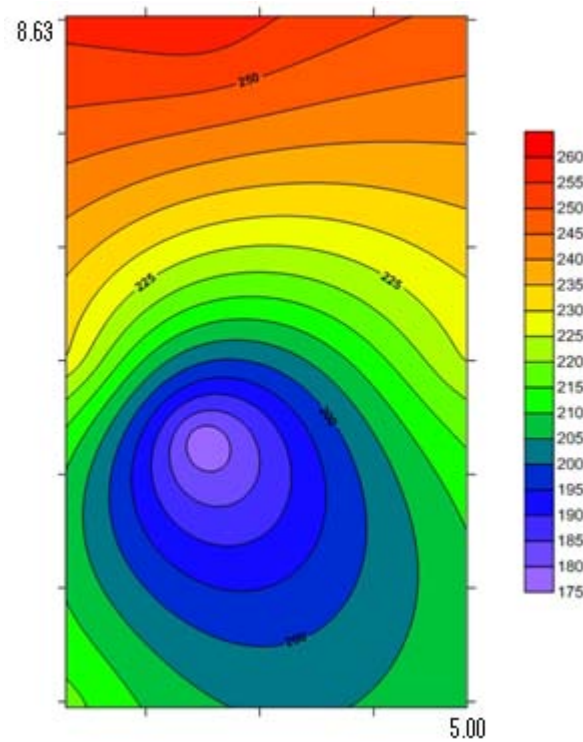
ANEXO 51. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 7304



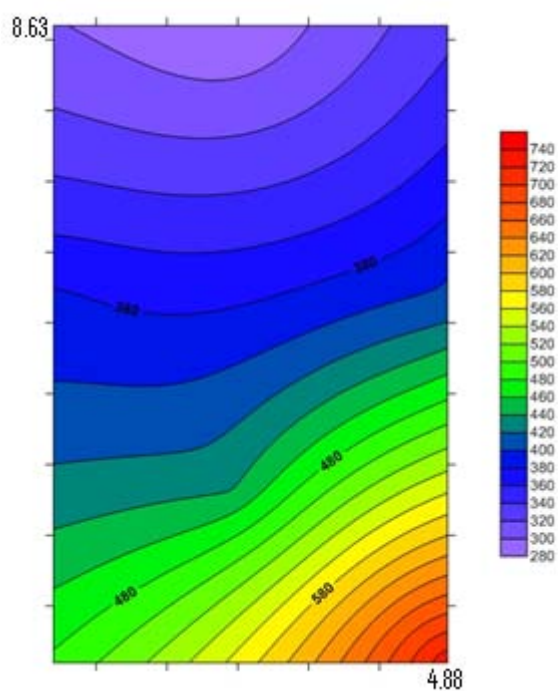
ANEXO 52. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 7401



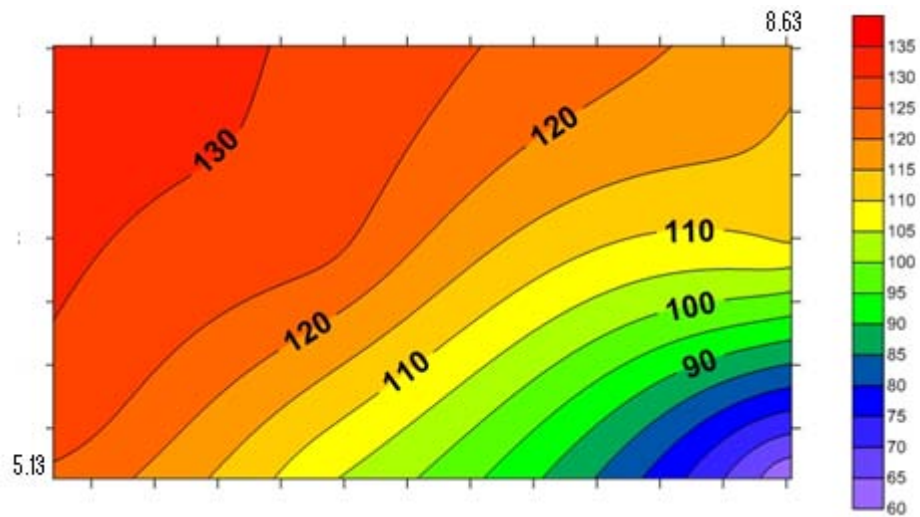
ANEXO 53. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 7402



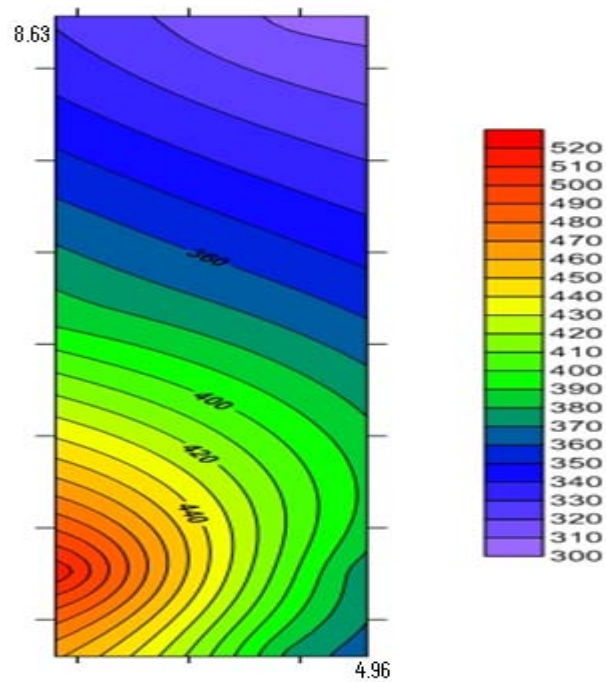
ANEXO 54. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 7403



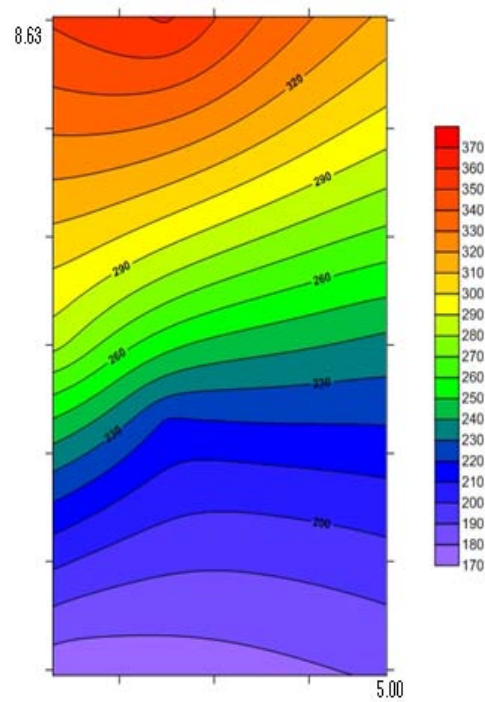
ANEXO 55. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 7404



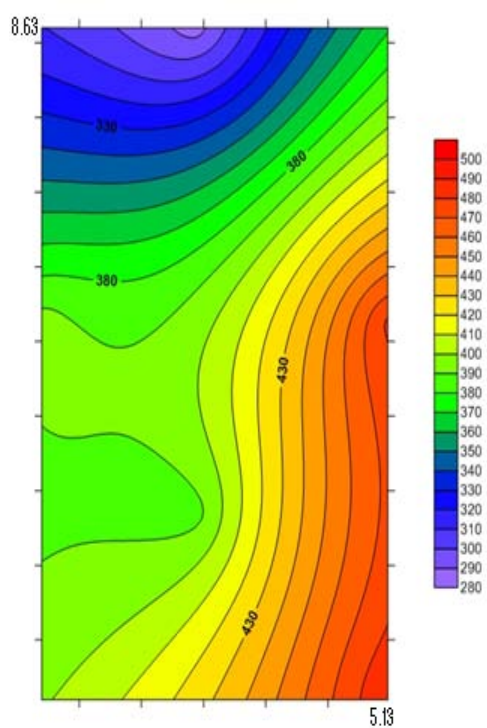
ANEXO 56. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 7501



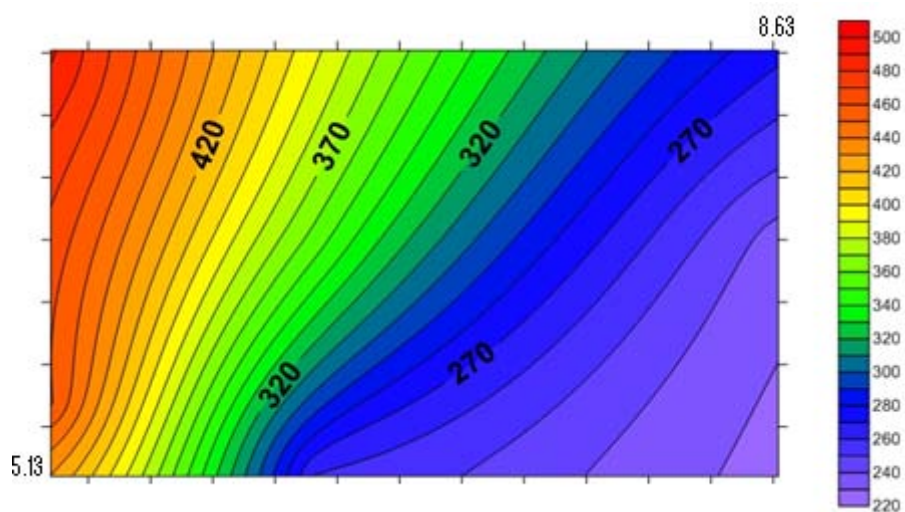
ANEXO 57. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 7502



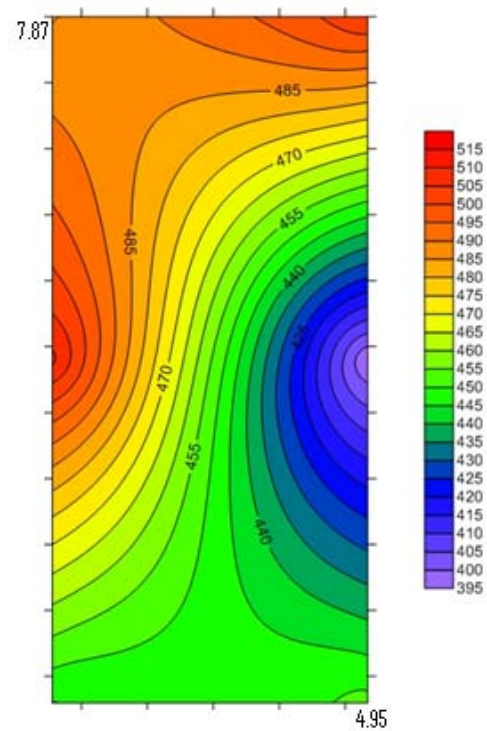
ANEXO 58. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 7503



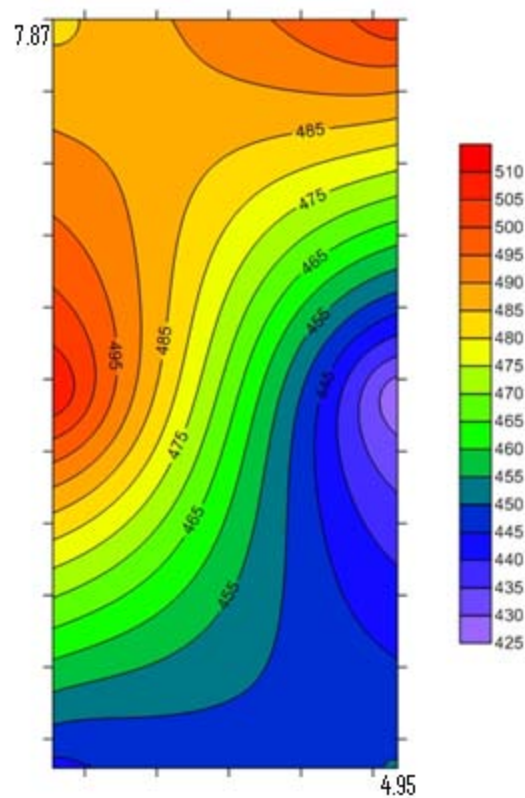
ANEXO 59. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 7504



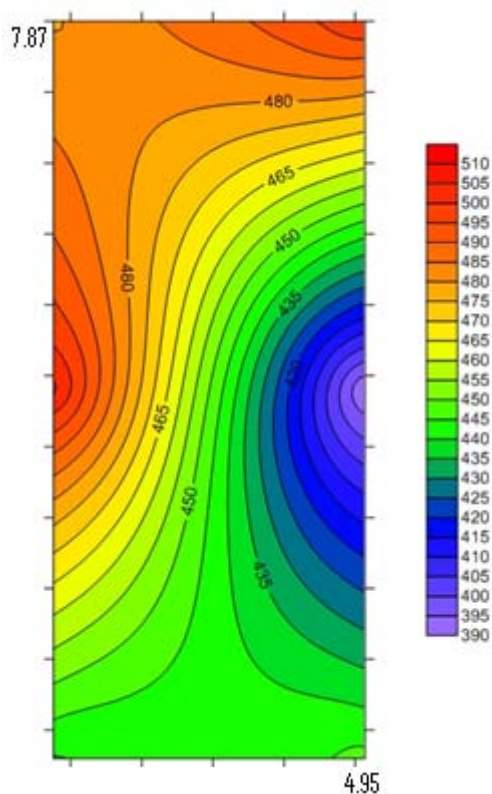
ANEXO 60. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 8301



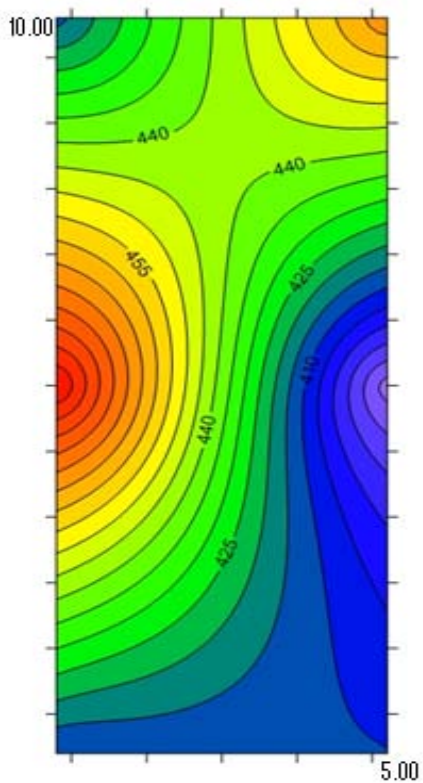
ANEXO 61. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 8302



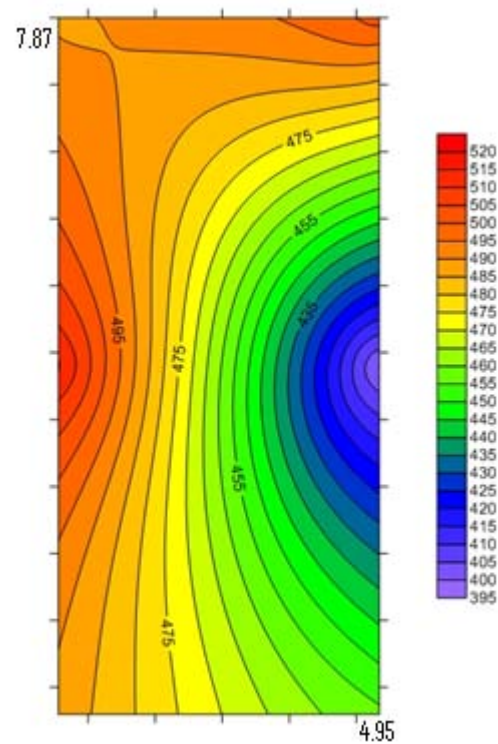
ANEXO 62. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 8303



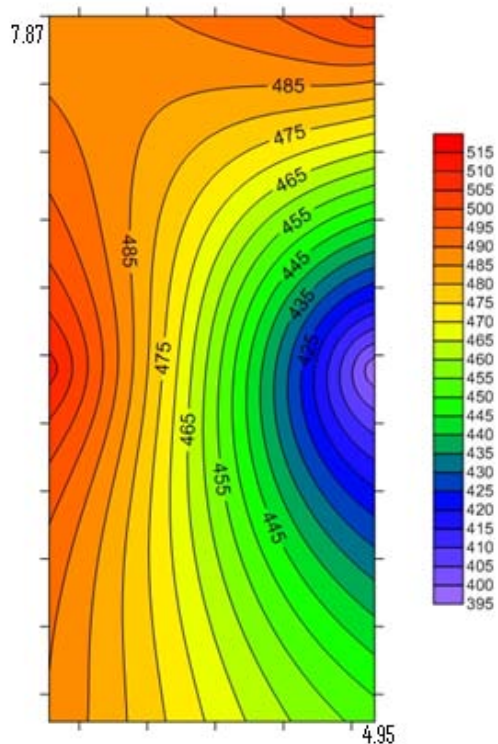
ANEXO 63. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 8304



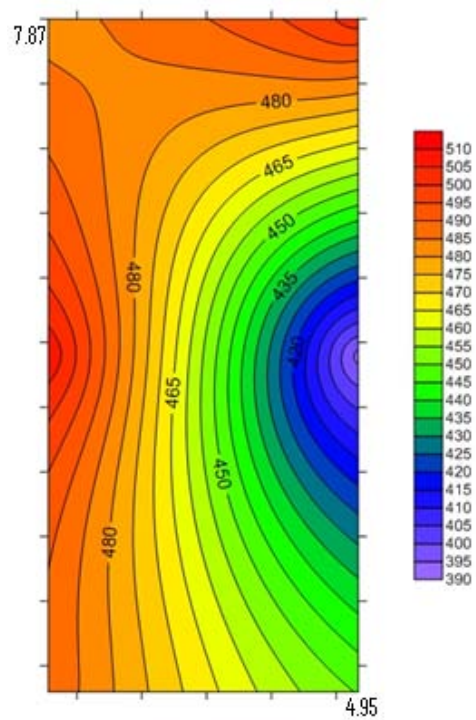
ANEXO 64. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 8401



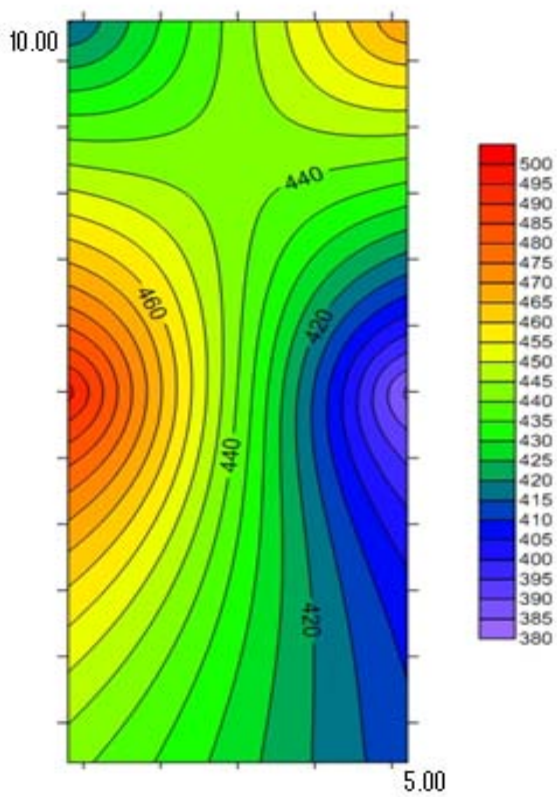
ANEXO 65. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 8402



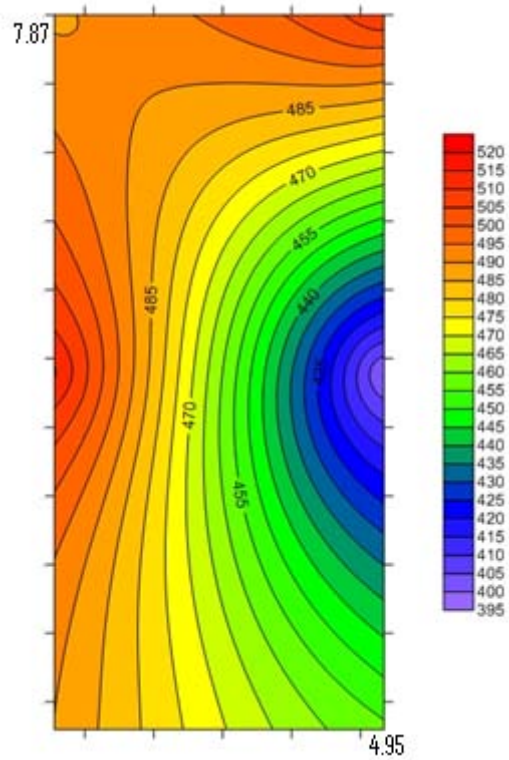
ANEXO 66. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 8403



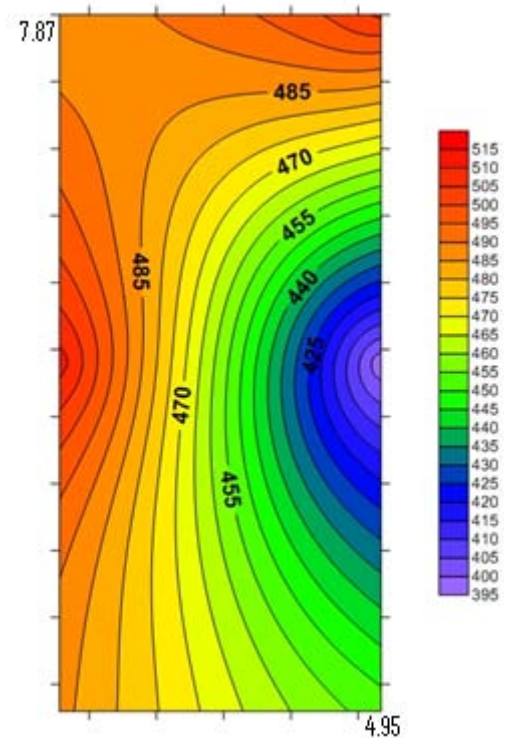
ANEXO 67. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 8404



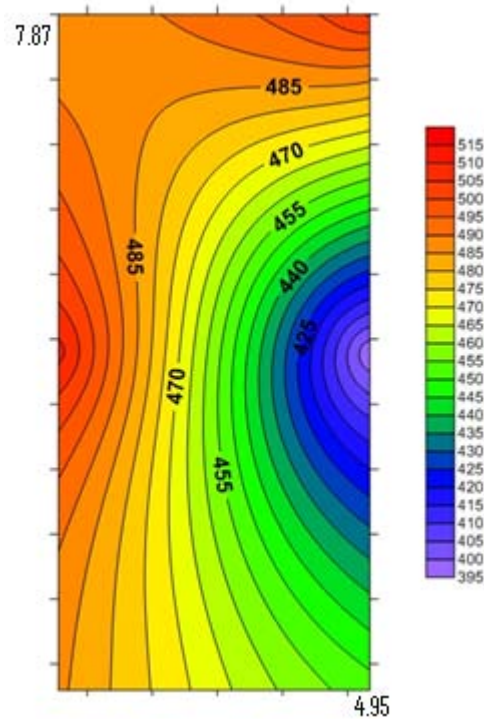
ANEXO 68. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 8501



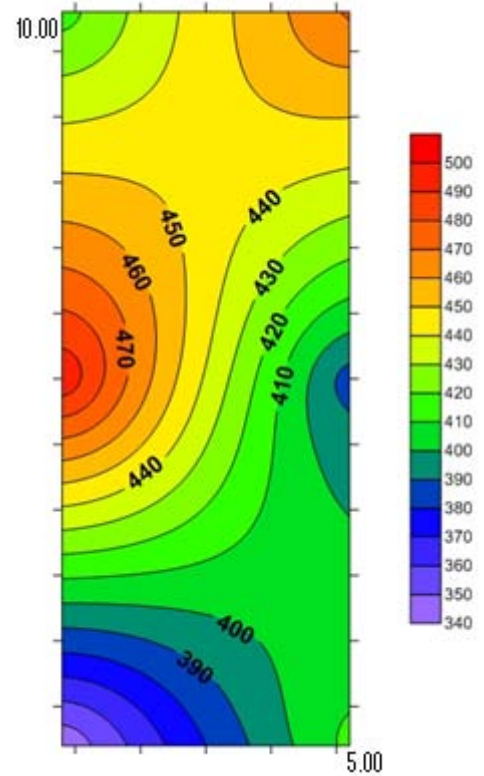
ANEXO 69. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 8502



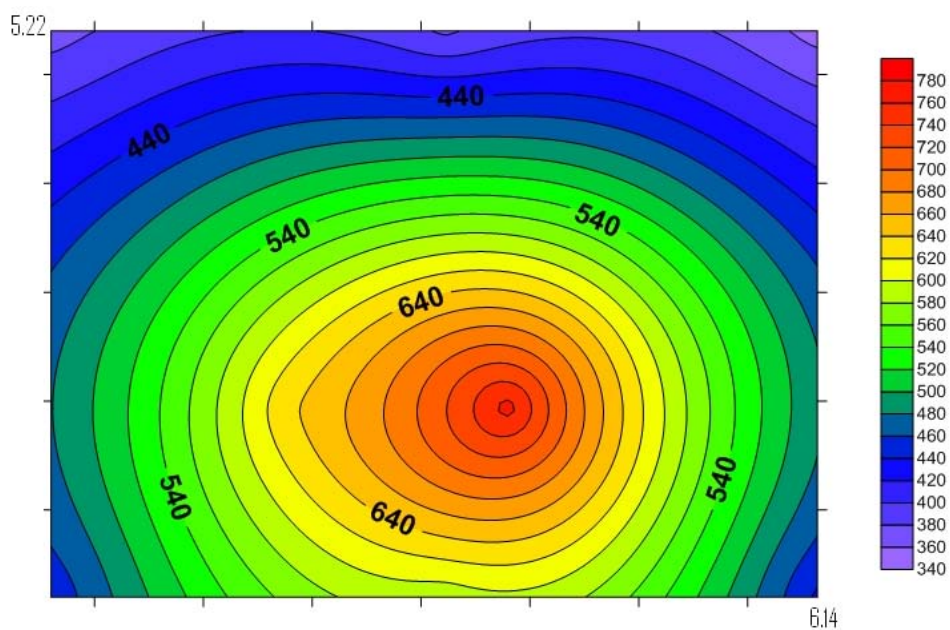
ANEXO 70. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 8503



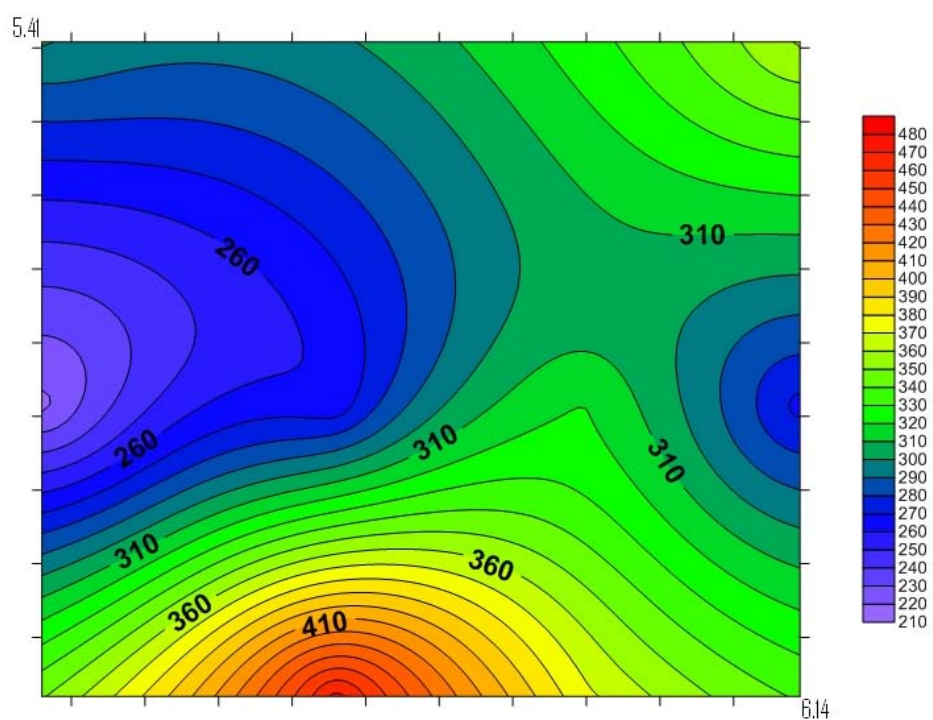
ANEXO 71. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 8504



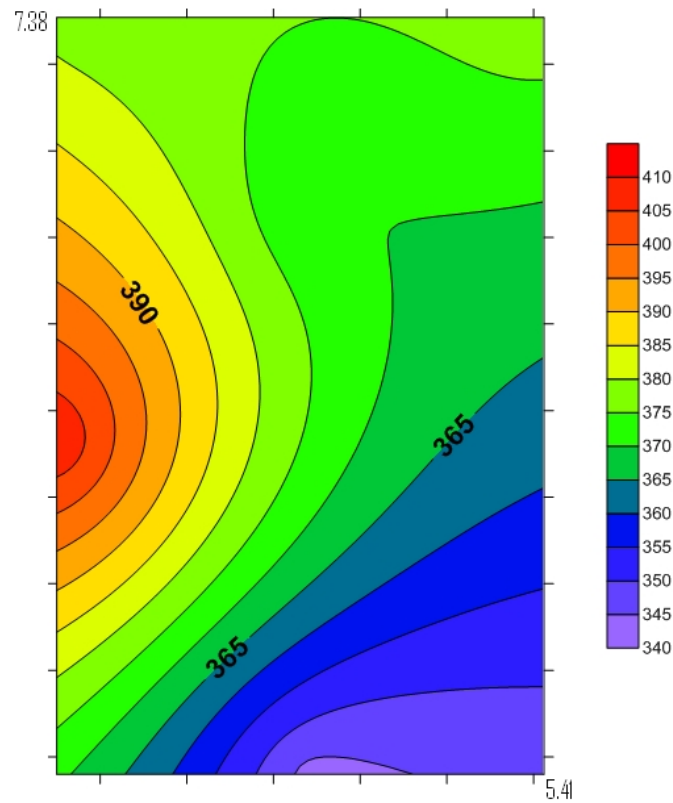
ANEXO 72. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 9201



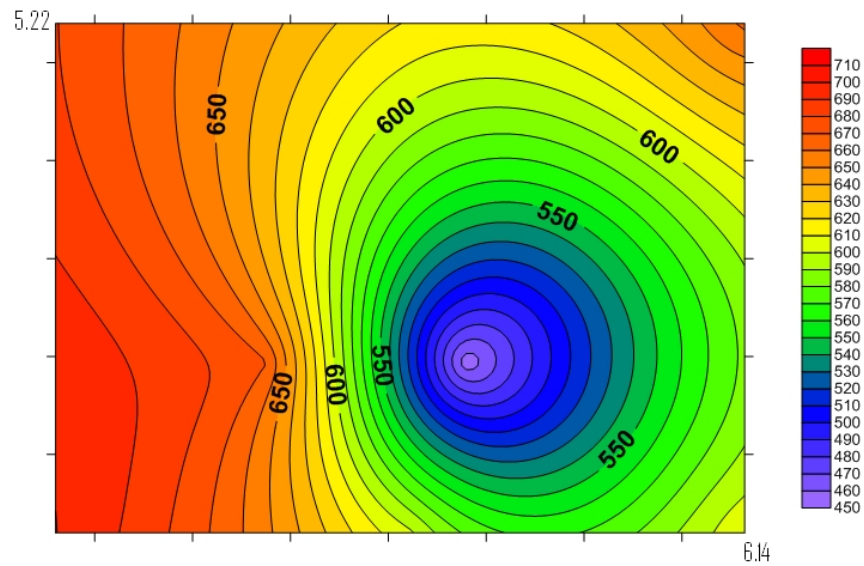
ANEXO 73. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 9202



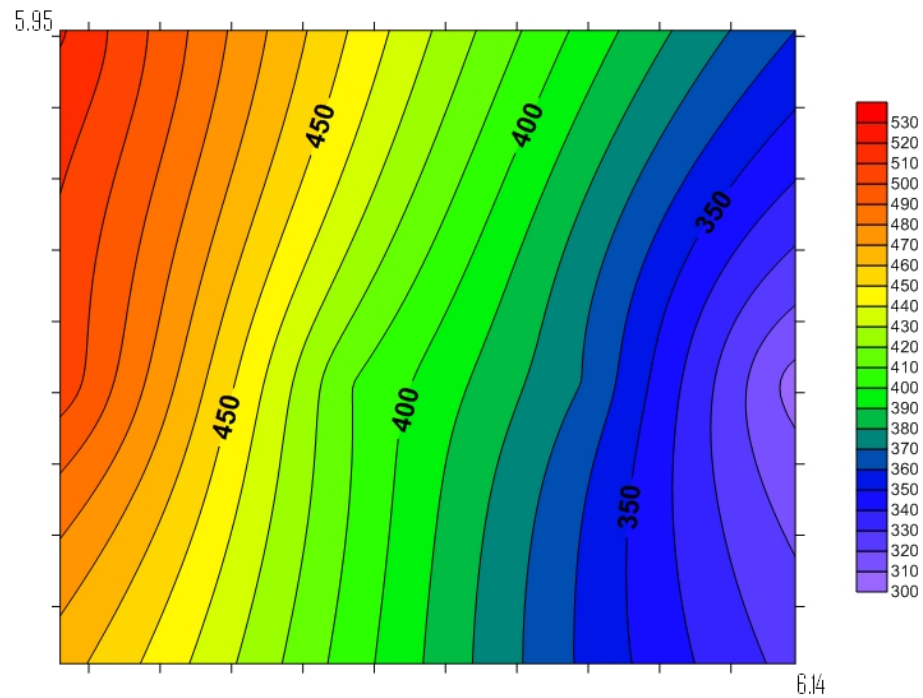
ANEXO 74. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 9203



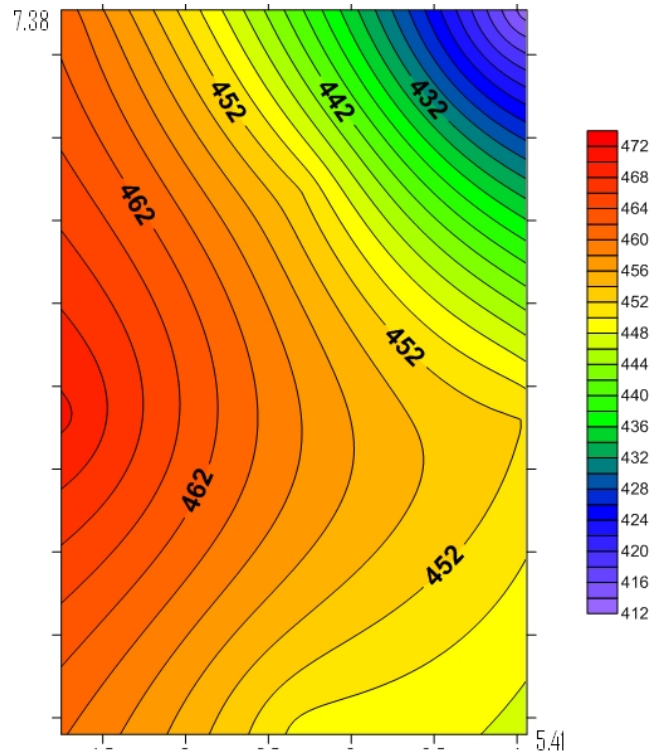
ANEXO 75. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 9301



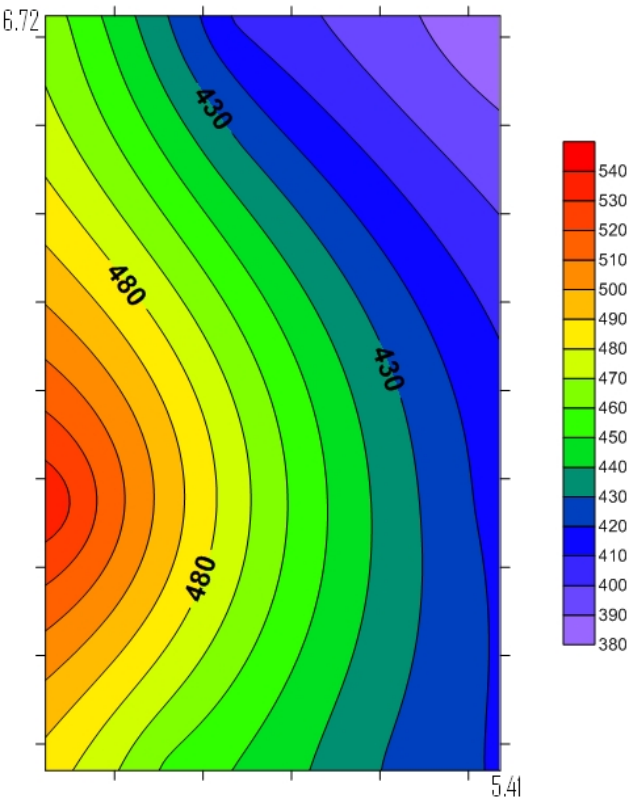
ANEXO 76. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 9302



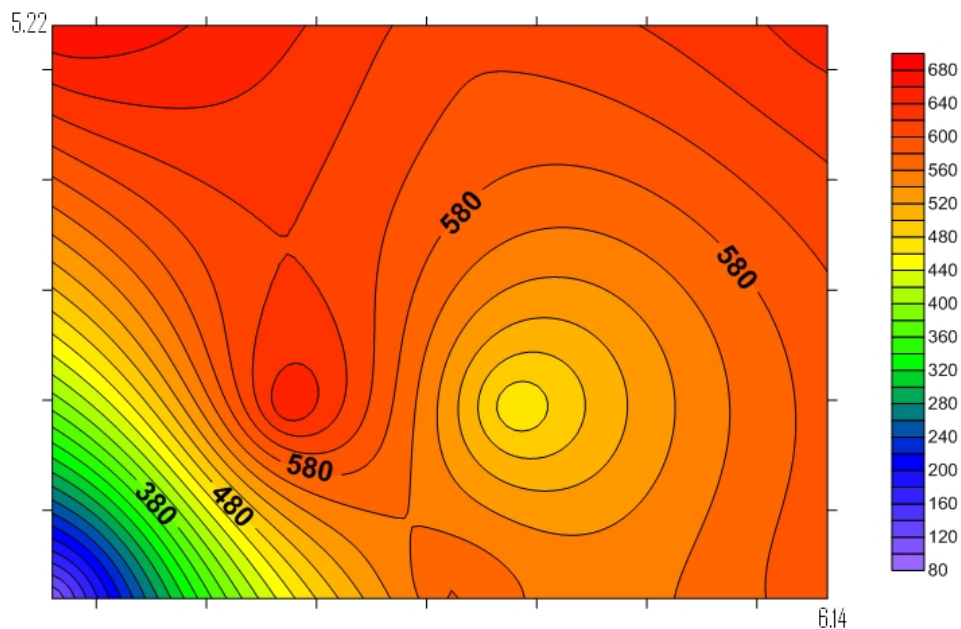
ANEXO 77. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 9303



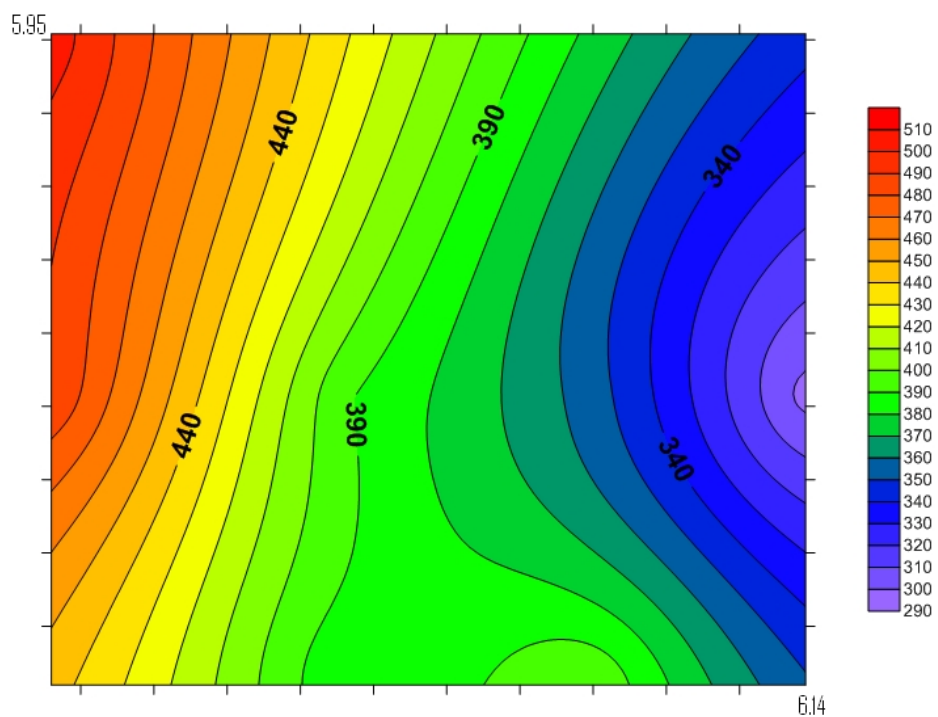
ANEXO 78. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 9304



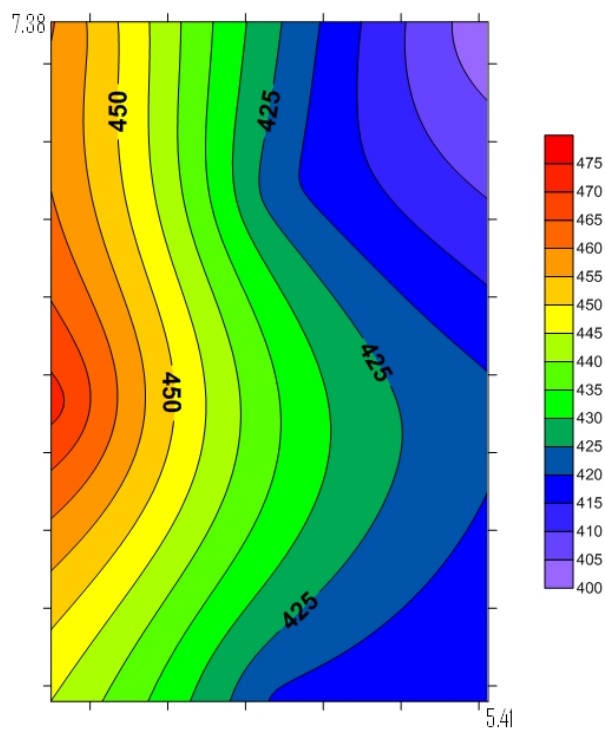
ANEXO 79. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 9401



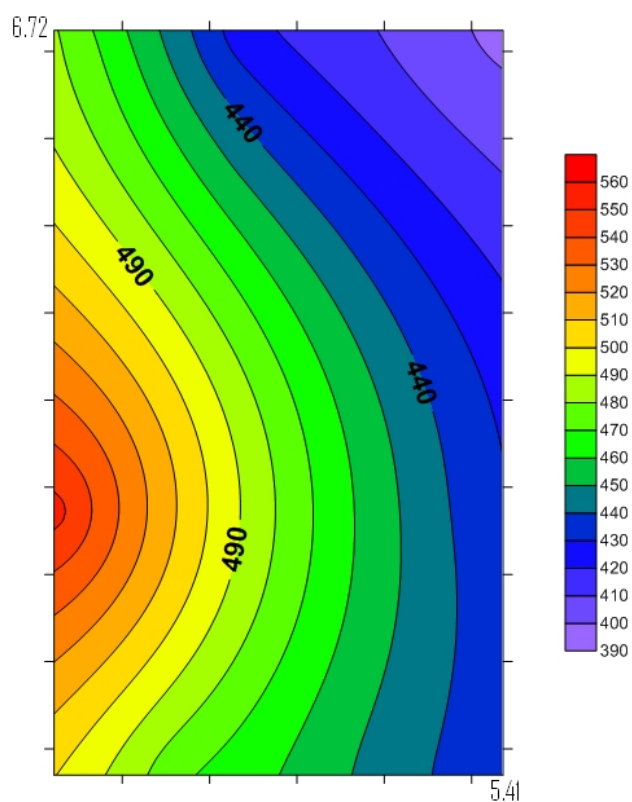
ANEXO 80. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 9402



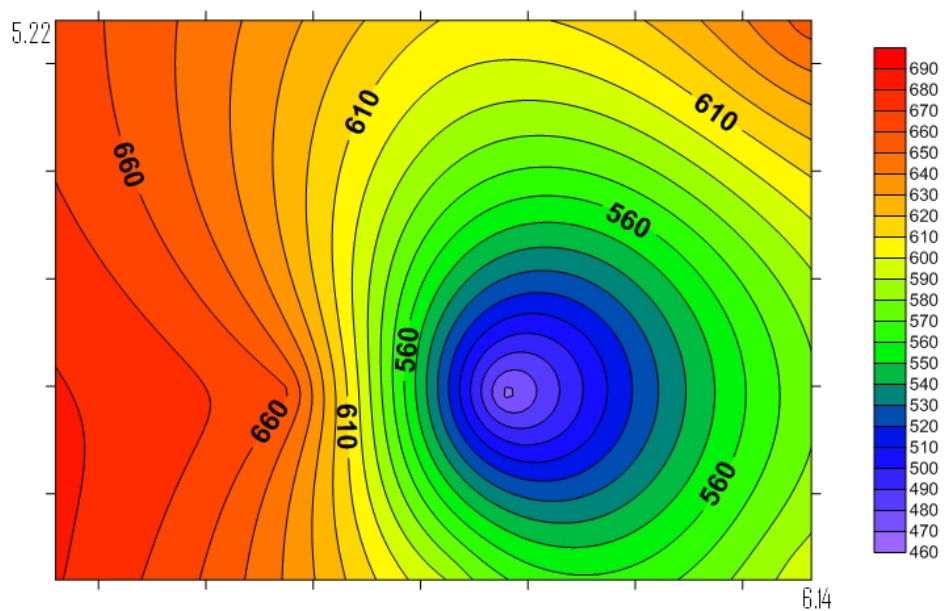
ANEXO 81. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 9403



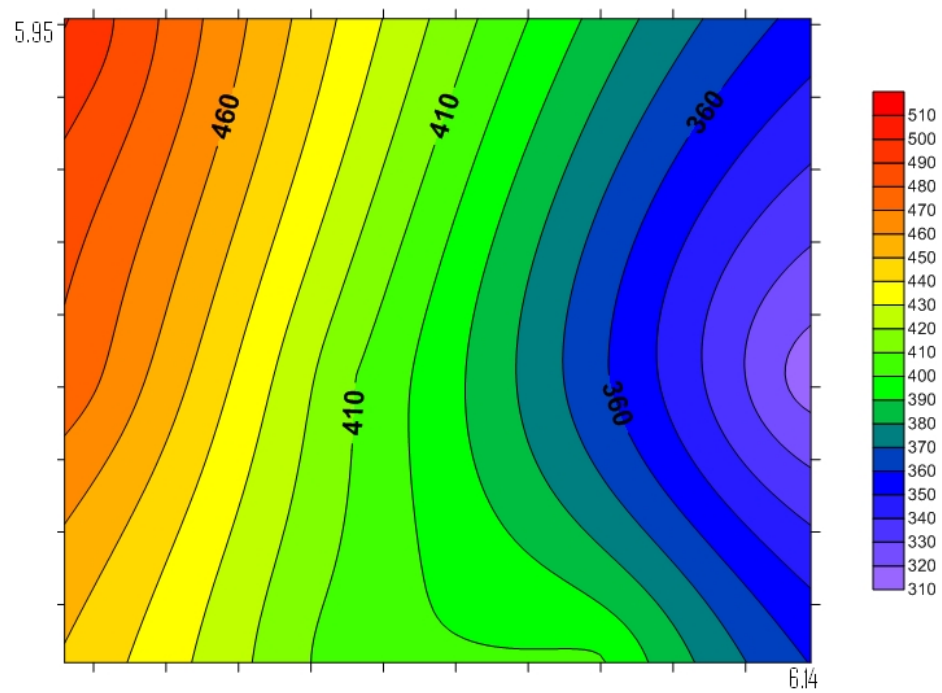
ANEXO 82. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 9404



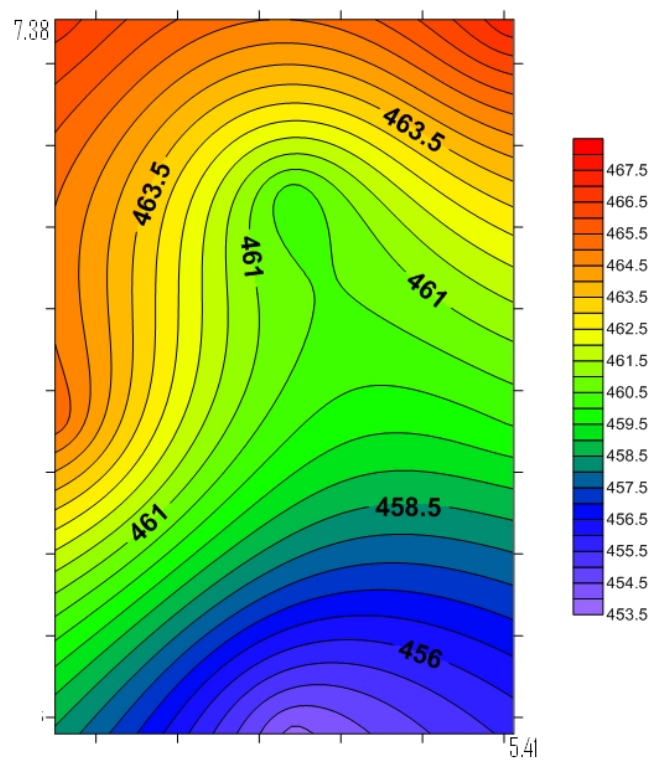
ANEXO 83. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 9501



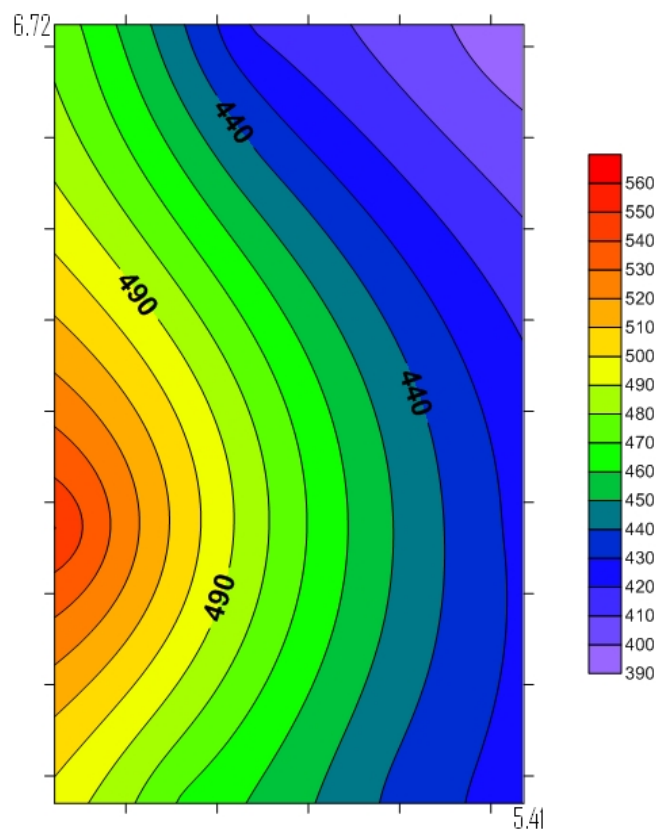
ANEXO 84. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 9502



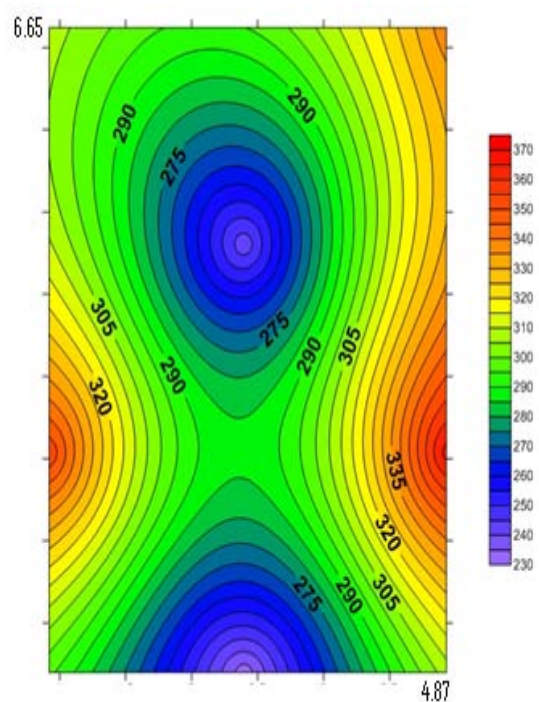
ANEXO 85. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 9503



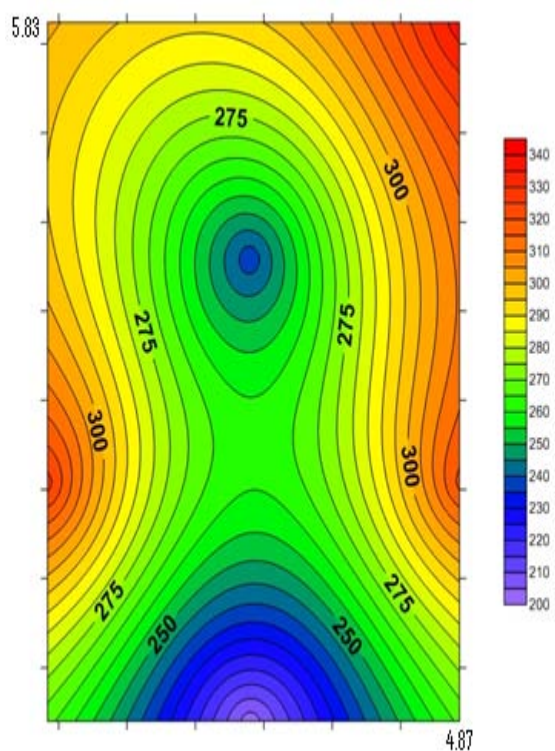
ANEXO 86. Gráficas de iluminancia con SURFER salón 9504



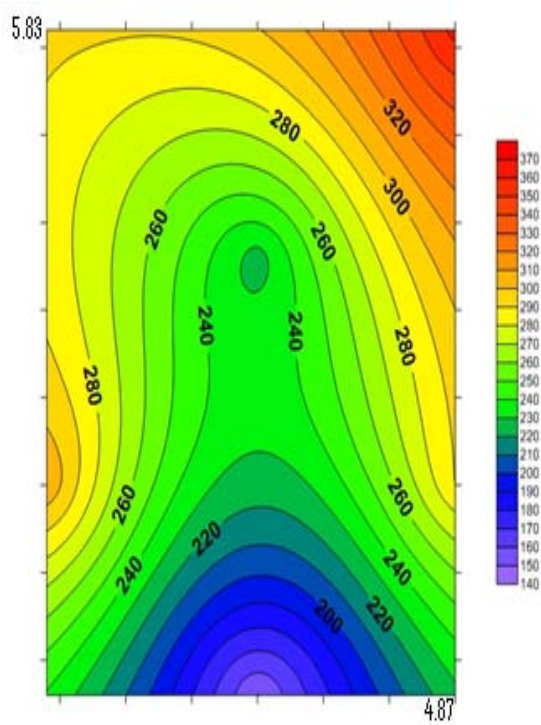
ANEXO 87. Gráficas de iluminancia con SURFER salón Ei-101



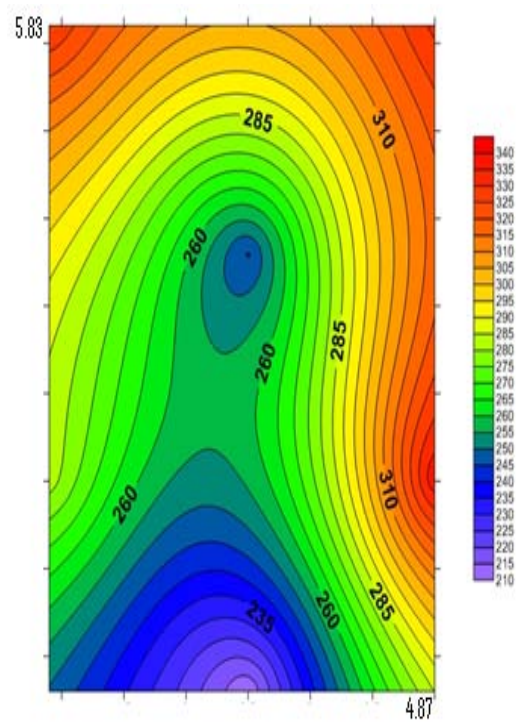
ANEXO 88. Gráficas de iluminancia con SURFER salón Ei-102



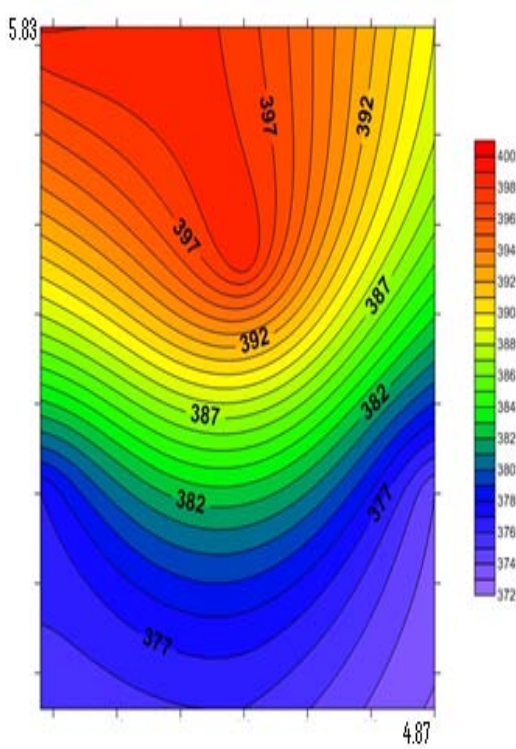
ANEXO 89. Gráficas de iluminancia con SURFER salón Ei-103



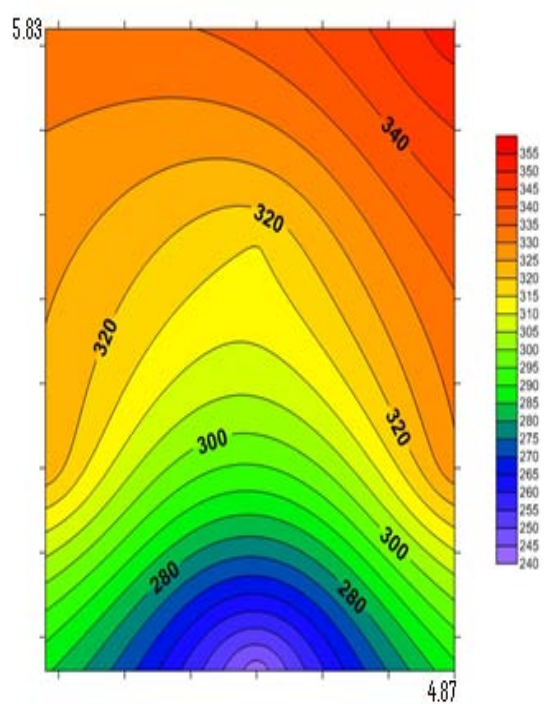
ANEXO 90. Gráficas de iluminancia con SURFER salón Ei-104



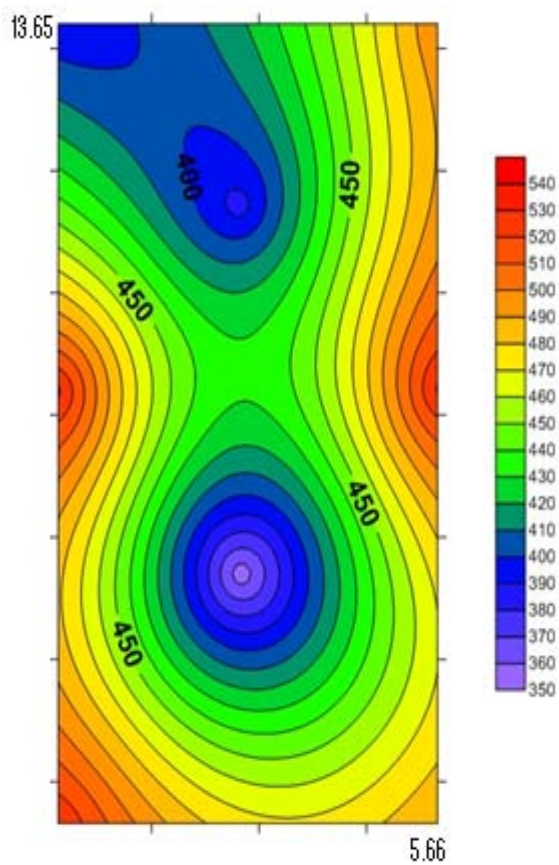
ANEXO 91. Gráficas de iluminancia con SURFER salón Ei-105



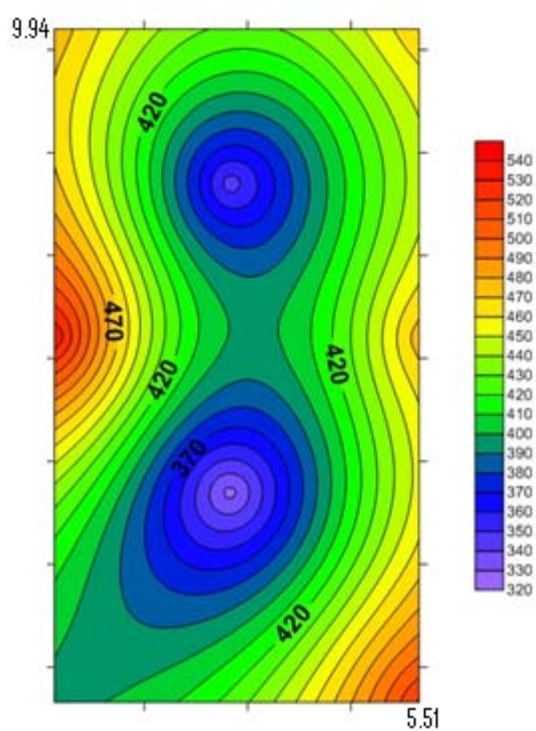
ANEXO 92. Gráficas de iluminancia con SURFER salón Ei-106



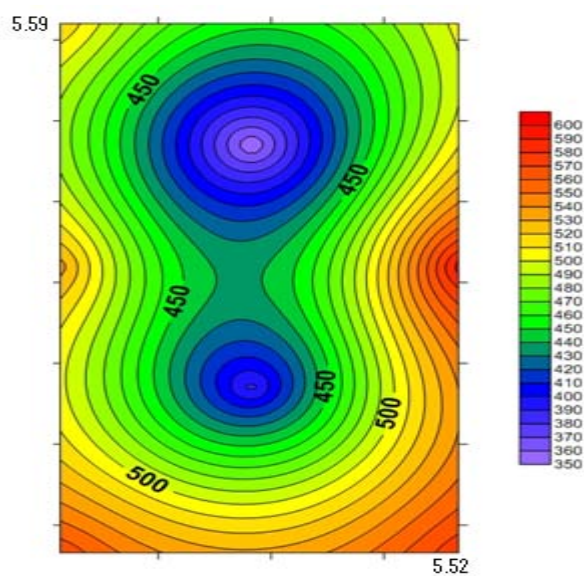
ANEXO 93. Gráficas de iluminancia con SURFER salón Ei-107



ANEXO 94. Gráficas de iluminancia con SURFER salón Ei-108



ANEXO 95. Gráficas de iluminancia con SURFER salón Ei-109



ANEXO 96. Gráficas de iluminancia con SURFER salón Ei-110

